



(51) 国際特許分類6
G06T 17/00

A1

(11) 国際公開番号

WO99/53445

(43) 国際公開日

1999年10月21日(21.10.99)

(21) 国際出願番号

PCT/JP99/01876

(22) 国際出願日

1999年4月8日(08.04.99)

(30) 優先権データ

特願平10/97065

1998年4月9日(09.04.98)

JP

(81) 指定国 AU, BR, CA, CN, ID, IL, KR, MX, PL, RU, TR, UA, VN, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, UG, ZW)

添付公開書類

国際調査報告書

(71) 出願人

株式会社 ソニー・コンピュータエンタテインメント
(SONY COMPUTER ENTERTAINMENT INC.)[JP/JP]
〒107-0052 東京都港区赤坂7丁目1番1号 Tokyo, (JP)

(72) 発明者

佐々木伸夫(SASAKI, Nobuo)

〒107-0052 東京都港区赤坂7丁目1番1号

株式会社 ソニー・コンピュータエンタテインメント内
Tokyo, (JP)

(74) 代理人

弁理士 山本寿武(YAMAMOTO, Toshitake)

〒167-0051 東京都杉並区荻窪4丁目28番9号

荻窪サニーガーデン301号 Tokyo, (JP)

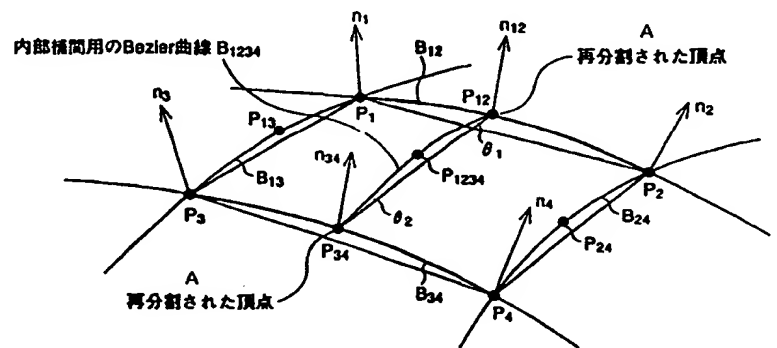
(54)Title: IMAGE PROCESSING APPARATUS AND IMAGE PROCESSING METHOD, PROGRAM PROVIDING MEDIUM, AND DATA PROVIDING MEDIUM

(54)発明の名称 画像処理装置および画像処理方法、プログラム提供媒体、並びにデータ提供媒体

(57) Abstract

Sub-polygons constituting a smooth three-dimensional shape are generated from a polygon. A Bezier curve used as an interpolating line (B_{12}) for interpolating the portion between vertexes (P_1 , P_2) of a rectangular polygon ($P_1P_2P_4P_3$) is generated from normal vectors (n_1 , n_2), and an interpolating line (B_{34}) for interpolating the portion between vertexes (P_3 , P_4) from normal vectors (n_3 , n_4). Hence interpolating points (P_{12} , P_{34}) are determined on the interpolating lines (B_{12} , B_{34}). Similarly, an interpolating line (B_{13}) for interpolating the portion between the vertexes (P_1 , P_3) and an interpolating line (B_{24}) for interpolating the portion between the vertexes (P_2 , P_4) are generated, and thereby interpolating points (P_{13} , P_{24}) are determined on the interpolating lines (B_{13} , B_{24}). Further similarly, an interpolating line (B_{1234}) for interpolating the portion between the interpolating points (P_{12} , P_{34}) is generated, and hence an interpolating point (P_{1234}) is determined on the interpolating line (B_{1234}). Thus, the rectangular polygon ($P_1P_2P_4P_3$) is divided into four rectangular sub-polygons ($P_1P_{12}P_{1234}P_{13}$, $P_{12}P_{24}P_{1234}$, $P_{1234}P_{24}P_{34}$, $P_{13}P_{1234}P_{34}P_3$). FIG. 15:

B_{1234} ... BEZIER CURVE FOR INTERNAL INTERPOLATION
A ... RE-DIVIDED VERTEX
B ... METHOD FOR RE-DIVIDING INSIDE OF RECTANGULAR POLYGON



四角形ポリゴンの内部の再分割方法
B

B_{1234} ... BEZIER CURVE FOR INTERNAL INTERPOLATION

A ... RE-DIVIDED VERTEX

B ... METHOD FOR RE-DIVIDING INSIDE OF RECTANGULAR POLYGON

ポリゴンから、滑らかな3次元形状を構成するサブポリゴンを得ることを目的とする。

四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ の頂点 P_1 と P_2 との間を補間する補間線 B_{12} としてのベジエ曲線が、法線ベクトル n_1, n_2 に基づいて求められるとともに、頂点 P_3 と P_4 との間を補間する補間線 B_{34} が、法線ベクトル n_3, n_4 に、基づいて求められる。そして、補間線 B_{12}, B_{34} 上に、補間点 P_{12}, P_{34} が求められる。さらに、頂点 P_1 と P_3 との間を補間する補間線 B_{13} 、および頂点 P_2 と P_4 との間を補間する補間線 B_{24} も同様にして求められ、補間線 B_{13}, B_{24} 上に、補間点 P_{13}, P_{24} が求められる。そして、補間点 P_{12} と P_{34} との間を補間する補間線 B_{1234} も同様にして求められ、補間線 B_{1234} 上に、補間点 P_{1234} が求められる。以上により、四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4$ は、四角形ポリゴン $P_1 P_{12} P_{1234} P_{13}, P_{12} P_2 P_{24} P_{1234}, P_{1234} P_{24} P_4 P_{34}$ 、および $P_{13} P_{1234} P_{34} P_3$ の4つのサブポリゴンに分割される。

PCTに基づいて公開される国際出願のパフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AL	アルバニア	EE	エストニア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AU	オーストラリア	FR	フランス	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LS	レソト	SK	スロヴァキア
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BE	ベルギー	GE	グルジア	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MA	モロッコ	TD	チャード
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MC	モナコ	TG	トーゴ
BJ	ベナン	GN	ギニア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BR	ブラジル	GW	ギニア・ビサオ	MG	マダガスカル	TZ	タンザニア
BY	ベラルーシ	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TM	トルクメニスタン
CA	カナダ	HR	クロアチア		共和国	TR	トルコ
CC	中央アフリカ	HU	ハンガリー	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CH	スイス	IE	アイルランド	MR	モリタニア	UG	ウガンダ
CI	コートジボワール	IL	イスラエル	MW	マラウイ	US	米国
CM	カメルーン	IN	インド	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	YU	ユーゴスラビア
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノルウェー	ZA	南アフリカ共和国
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド	ZW	ジンバブエ
CZ	チェコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		

明細書

画像処理装置および画像処理方法、プログラム提供媒体、並びにデータ提供媒体

5

技術分野

本発明は、画像処理装置および画像処理方法、プログラム提供媒体、並びにデータ提供媒体に関し、特に、例えば、大まかな形状から、詳細な形状の画像を生成することができるようにする画像処理装置および画像処理方法、プログラム提供媒体、並びにデータ提供媒体に関する。

10

背景技術

プロセッサやメモリなどの高集積化、高速化等に伴い、従来は困難であった3次元画像のリアルタイム生成が可能となり、これにより、例えば、ビデオゲーム機などにおいては、臨場感のある3次元画像（3次元グラフィックス）の表示が可能となっている。なお、3次元画像を表示する場合においては、多くの場合、その3次元画像を複数のポリゴン（単位図形）に分解し、これらのポリゴンそれぞれを描画することで、3次元画像全体を描画するようになされている。従って、このようにして描画される3次元画像は、ポリゴンの組合せにより定義されているということができる。

15

20

ところで、3次元画像の制作は、例えば、ワイヤーフレームで、3次元形状を構成することなどにより行われるが、ワイヤーフレームを構成するには、3次元形状について、詳細なパラメータを、制作者が設定しなければならず、面倒であった。即ち、3次元形状が複雑になるにつれて、ワイヤーフレームのパラメータも細かに設定する必要があり、面倒

25

であった。

本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、大まかな形状から、詳細な形状の画像を生成することができるようにするものである。

5

発明の開示

請求の範囲第 1 項に記載の画像処理装置は、単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線
10 を求める補間線算出手段と、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求める補間点算出手段とを備えることを特徴とする。

請求の範囲第 2 5 項に記載の画像処理方法は、単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補
15 間線を求める補間線算出ステップと、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求める補間点算出ステップとを備えることを特徴とする。

請求の範囲第 4 9 項に記載のプログラム提供媒体は、単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる
20 補間用ベクトルと、頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線を求める補間線算出ステップと、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求める補間点算出ステップとを備えるコンピュータプログラムを提供することを特徴とする。

請求の範囲第 7 4 項に記載の画像処理装置は、単位図形を入力する
25 きに操作される操作手段と、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線で

ある補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成手段とを備えることを特徴とする。

- 請求の範囲第 9 1 項に記載の画像処理方法は、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成ステップを備えることを特徴とする。

- 請求の範囲第 1 0 8 項に記載のプログラム提供媒体は、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成ステップを備えるコンピュータプログラムを提供することを特徴とする。

- 請求の範囲第 1 2 5 項に記載のデータ提供媒体は、単位図形が入力された場合に、その単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成することにより得られる、頂点における補間用ベクトルと、頂点の座標とを、画像についてのデータとして、少なくとも提供することを特徴とする。

- 請求の範囲第 1 3 3 項に記載の画像処理装置は、提供装置が、単位図形を入力するときに操作される操作手段と、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成手段とを有し、クライアント装置が、単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルとから、補間線を求める補間線算出手段と、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求める補間点算出手段とを有することを特徴とする。

請求の範囲第 1 項に記載の画像処理装置においては、補間線算出手段

は、単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線を求め、補間点算出手段は、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求めるようになされている。

請求の範囲第25項に記載の画像処理方法においては、単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線を求め、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求めるようになされている。

請求の範囲第49項に記載のプログラム提供媒体においては、単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線を求め、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求めるコンピュータプログラムを提供するようになされている。

請求の範囲第74項に記載の画像処理装置においては、操作手段は、単位図形を入力するときに操作され、補間用ベクトル生成手段は、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成するようになされている。

請求の範囲第91項に記載の画像処理方法においては、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成するようになされている。

請求の範囲第108項に記載のプログラム提供媒体においては、操作

手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成するコンピュータプログラムを提供するようになされている。

- 5 請求の範囲第 1 2 5 項に記載のデータ提供媒体においては、単位図形が入力された場合に、その単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成することにより得られる、頂点における補間用ベクトルと、頂点の座標とを、画像についてのデータとして、少なくとも提供するようになされている。
- 10 なされている。

- 請求の範囲第 1 3 3 項に記載の画像処理装置においては、操作手段は、単位図形を入力するときに操作され、補間用ベクトル生成手段は、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成するようになされている。補間線算出手段は、単位
- 15 図形の頂点の座標および補間用ベクトルとから補間線を求め、補間点算出手段は、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求めるようになされている。

20 図面の簡単な説明

第 1 図は、本発明を適用したデータ提供システムの一実施の形態の構成例を示す図である。

第 2 図は、第 1 図のデータ提供装置 1 の構成例を示すブロック図である。

- 25 第 3 図は、第 1 図のユーザ端末 4 の構成例を示すブロック図である。
第 4 図は、補間線の算出方法を説明するための図である。

第5図は、角度 θ_1 と θ_2 とが等しい場合の補間線を示す図である。

第6図は、制御辺長 L_1 および L_2 の求め方を説明するための図である。

第7図は、制御辺長 L_1 および L_2 の求め方を説明するための図である。

第8図は、角度 θ_1 と θ_2 とが異なる場合の補間線の求め方を説明する

5 ための図である。

第9図は、制御点算出処理を説明するためのフローチャートである。

第10図は、補間線を求めたシミュレーション結果を示す図である。

第11図は、補間線を求めたシミュレーション結果を示す図である。

第12図は、補間線を求めたシミュレーション結果を示す図である。

10 第13図は、補間線を求めたシミュレーション結果を示す図である。

第14図は、3次元形状を構成するポリゴンについての補間線の求め方を説明するための図である。

第15図は、細分割処理を説明するための図である。

15 第16図は、サブポリゴンの頂点における法線ベクトルの求め方を説明するための図である。

第17図は、細分割処理において、頂点における法線ベクトルだけを補間用ベクトルとして用いた場合の不具合を説明するための図である。

第18図は、細分割処理において、頂点における法線ベクトルだけを補間用ベクトルとして用いた場合の不具合を説明するための図である。

20 第19図は、補間用ベクトルとして、曲線補間用法線ベクトルおよび枠線補間用法線ベクトルの両方を採用した場合の細分割処理を説明するための図である。

第20図は、分割用ポリゴンデータ生成処理を説明するためのフローチャートである。

25 第21図は、第20図のステップS14の処理を説明するための図である。

第 2 2 図は、3 次元形状を構成する枠線としてのベジェ曲線が、順次描かれていく様子を示す図である。

第 2 3 図は、枠線補間用法線ベクトル（枠線の法線ベクトル）を説明するための図である。

- 5 第 2 4 図は、第 2 0 図のステップ S 1 6 の処理を説明するための図である。

第 2 5 図は、枠線補間用法線ベクトルを用いて得られる補間線と、曲面補間用法線ベクトルを用いて得られる補間線とを示す図である。

第 2 6 図は、分割用ポリゴンデータのフォーマットを示す図である。

- 10 第 2 7 図は、細分割処理を説明するためのフローチャートである。

第 2 8 図は、細分割処理を説明するための図である。

第 2 9 図は、第 2 7 図のステップ S 2 1 および S 2 2 の処理を説明するための図である。

- 15 第 3 0 図は、第 2 7 図のステップ S 2 3 および S 2 4 の処理を説明するための図である。

第 3 1 図は、第 2 7 図のステップ S 2 5 の処理を説明するための図である。

第 3 2 図は、第 2 7 図のステップ S 2 6 の処理を説明するための図である。

- 20 第 3 3 図は、第 2 7 図のステップ S 2 5 の処理を説明するための図である。

第 3 4 図は、枠線の分割処理を説明するためのフローチャートである。

第 3 5 図は、ポリゴン内部の分割処理を説明するためのフローチャートである。

- 25 第 3 6 図は、細分割処理の対象としての立方体を構成するポリゴンを示す図である。

第 3 7 図は、第 3 6 図のポリゴンに対して細分割処理を施さなかった場合の描画結果を示すディスプレイ上に表示した中間調画像の写真である。

5 第 3 8 図は、第 3 6 図のポリゴンに対して細分割処理を施した場合の描画結果を示すディスプレイ上に表示した中間調画像の写真である。

第 3 9 図は、細分割処理の対象としての立方体に与える補間用法線ベクトルを変更した状態を示す図である。

第 4 0 図は、第 3 6 図のポリゴンに対して細分割処理を施した場合の描画結果を示すディスプレイ上に表示した中間調画像の写真である。

10 第 4 1 図は、第 3 6 図のポリゴンに対して細分割処理を施した場合の描画結果を示すディスプレイ上に表示した中間調画像の写真である。

第 4 2 図は、第 3 6 図のポリゴンに対して細分割処理を施した場合の描画結果を示すディスプレイ上に表示した中間調画像の写真である。

15 第 4 3 図は、第 3 図のユーザ端末 4 の処理を説明するためのフローチャートである。

第 4 4 図は、ユーザ端末 4 がビデオゲーム機として構成されている場合の電氣的構成例を示すブロック図である。

第 4 5 図は、第 4 4 図のグラフィックメモリ 1 1 8 の構成例を示すブロック図である。

20

発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明の実施の形態を説明するが、その前に、特許請求の範囲に記載の発明の各手段と以下の実施の形態との対応関係を明らかにするために、各手段の後の括弧内に、対応する実施の形態（但し、一例）
25 を付加して、本発明の特徴を記述すると、次のようになる。

即ち、請求の範囲第 1 項に記載の画像処理装置は、単位図形の組合せ

- により定義される画像を処理することにより、単位図形を、複数のサブ単位図形に分割する画像処理装置であって、単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線
- 5 を求める補間線算出手段（例えば、第34図に示すプログラムの処理ステップS31乃至S35や、第35図に示すプログラムの処理ステップS41乃至45など）と、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求める補間点算出手段（例えば、第34図に示すプログラムの処理ステップS36や、第35図に示すプログラムの処理ステップ
- 10 S46など）とを備えることを特徴とする。

- 請求の範囲第3項に記載の画像処理装置は、第1の補間線上の補間点における補間用ベクトルを、第1および第2の頂点における補間用ベクトルから求めるとともに、第2の補間線上の補間点における補間用ベクトルを、第3および第4の頂点における補間用ベクトルから求める補間
- 15 用ベクトル算出手段（例えば、第34図に示すプログラムの処理ステップS36など）をさらに備え、補間線算出手段が、第1および第2の補間線上の補間点における補間用ベクトルと、その補間点の座標とから、第5の補間線を求めることを特徴とする。

- 請求の範囲第14項に記載の画像処理装置は、補間点における、その
- 20 補間点と他の補間点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルを、頂点における補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出手段（例えば、第34図に示すプログラムの処理ステップS36など）をさらに備えることを特徴とする。

- 請求の範囲第16項に記載の画像処理装置は、補間用ベクトル算出手
- 25 段によって求められた補間点における補間用ベクトルを補正する補正手段（例えば、第34図に示すプログラムの処理ステップS37など）を

さらに備えることを特徴とする。

請求の範囲第 18 項に記載の画像処理装置は、画像が、3 次元画像であり、サブ単位図形をレンダリングするレンダリング手段（例えば、第 3 図に示すレンダリング部 25 など）をさらに備えることを特徴とする。

- 5 請求の範囲第 21 項に記載の画像処理装置は、画像が、3 次元画像であり、補間線算出手段が、ベジェ曲線である補間線が補間する 1 の頂点と他の頂点とを結ぶ直線と、その直線を、1 の頂点または他の頂点を含む平面であって、1 の頂点または他の頂点における補間用ベクトルに垂直な平面に投影したものそれぞれとがなす第 1 または第 2 の角度を求め
- 10 る角度算出手段（例えば、第 34 図に示すプログラムの処理ステップ S 31 乃至 S 33 など）と、第 1 および第 2 の角度に基づいて、1 の頂点または他の頂点から、ベジェ曲線の第 1 または第 2 の制御点までの距離である第 1 または第 2 の制御辺長をそれぞれ求める距離算出手段（例えば、第 34 図に示すプログラムの処理ステップ S 34 など）と、第 1 または第 2 の制御辺長に基づいて、第 1 または第 2 の制御点をそれぞれ求めることにより、1 の頂点と、他の頂点との間を補間する補間線としてのベジェ曲線を求めるベジェ曲線算出手段（例えば、第 34 図に示すプログラムの処理ステップ S 35 など）とを有することを特徴とする。
- 15

- 請求の範囲第 22 項に記載の画像処理装置は、単位図形の頂点の座標
- 20 および補間用ベクトルが記録媒体に記録されている場合に、その記録媒体から、頂点の座標および補間用ベクトルを再生する再生手段（例えば、第 3 図に示す受信／再生装置 21 など）をさらに備えることを特徴とする。

- 請求の範囲第 23 項に記載の画像処理装置は、単位図形の頂点の座標
- 25 および補間用ベクトルが伝送路を介して伝送されてくる場合に、その伝送路を介して伝送されてくる頂点の座標および補間用ベクトルを受信す

る受信手段（例えば、第 3 図に示す受信／再生装置 21 など）をさらに備えることを特徴とする。

請求の範囲第 2 4 項に記載の画像処理装置は、画像が、3 次元画像であり、所定の入力を与えるときに操作される操作手段（例えば、第 3 図に示す入力部 28 など）と、単位図形に関するデータを、記録媒体から読み込み、そのデータに対して、操作手段からの入力に対応するジオメトリ処理を施すジオメトリ処理手段（例えば、第 3 図に示すジオメトリ処理部 23 など）と、ジオメトリ処理後の単位図形を分割して得られるサブ単位図形を、2 次元出力装置の座標系のものに変換する変換手段（例えば、第 3 図に示すレンダリング部 25 など）と、変換手段によって変換されたサブ単位図形をレンダリングするレンダリング手段（例えば、第 3 図に示すレンダリング部 25 など）とをさらに備えることを特徴とする。

請求の範囲第 7 4 項に記載の画像処理装置は、単位図形の組合せにより定義される画像を処理する画像処理装置であって、単位図形を入力するときに操作される操作手段（例えば、第 2 図に示す入力部 11 など）と、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成手段（例えば、第 2 図に示すデータ処理部 12 など）と、単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを提供するための提供手段（例えば、第 2 図に示す送信／記録装置 18 など）とを備えることを特徴とする。

請求の範囲第 8 2 項に記載の画像処理装置は、単位図形を、頂点の座標および補間用ベクトルに基づいて、複数のサブ単位図形に分割する分割手段（例えば、第 2 図に示す分割処理部 14 など）と、サブ単位図形をレンダリングするレンダリング手段（例えば、第 2 図に示すレンダリ

ング部 1 5 など) とをさらに備えることを特徴する。

- 請求の範囲第 8 3 項に記載の画像処理装置は、分割手段が、頂点の座標および補間用ベクトルに基づいて、補間線を求める補間線算出手段(例えば、第 3 4 図に示すプログラムの処理ステップ S 3 1 乃至 S 3 5 や、
- 5 第 3 5 図に示すプログラムの処理ステップ S 4 1 乃至 S 4 5 など) と、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求める補間点算出手段(例えば、第 3 4 図に示すプログラムの処理ステップ S 3 6 や、第 3 5 図に示すプログラムの処理ステップ S 4 6 など) とを有することを特徴とする。

- 10 請求の範囲第 8 4 項に記載の画像処理装置は、分割手段が、補間点における、その補間点と他の補間点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルを、頂点における補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出手段(例えば、第 3 4 図に示すプログラムの処理ステップ S 3 6 など) をさらに有することを特徴とする。

- 15 請求の範囲第 8 6 項に記載の画像処理装置は、分割手段が、補間用ベクトル算出手段によって求められた補間点における補間用ベクトルを補正する補正手段(例えば、第 3 4 図に示すプログラムの処理ステップ S 3 7 など) をさらに有することを特徴とする。

- 請求の範囲第 9 0 項に記載の画像処理装置は、画像が、3 次元画像であり、補間線算出手段が、ベジェ曲線である補間線が補間する 1 の頂点と他の頂点とを結ぶ直線と、その直線を、1 の頂点または他の頂点を含む平面であって、1 の頂点または他の頂点における補間用ベクトルに垂直な平面に投影したものそれぞれとがなす第 1 または第 2 の角度を求める角度算出手段(例えば、第 3 4 図に示すプログラムの処理ステップ S
- 20 3 1 乃至 S 3 3 など) と、第 1 および第 2 の角度に基づいて、1 の頂点または他の頂点から、ベジェ曲線の第 1 または第 2 の制御点までの距離
- 25

である第 1 または第 2 の制御辺長をそれぞれ求める距離算出手段（例えば、第 3 4 図に示すプログラムの処理ステップ S 3 4 など）と、第 1 または第 2 の制御辺長に基づいて、第 1 または第 2 の制御点をそれぞれ求めることにより、1 の頂点と、他の頂点との間を補間する補間線としての
5 のベジェ曲線を求めるベジェ曲線算出手段（例えば、第 3 4 図に示すプログラムの処理ステップ S 3 5 など）とを有することを特徴とする。

請求の範囲第 1 3 3 項に記載の画像処理装置は、単位図形の組合せにより定義される画像を処理する画像処理装置であって、画像についてのデータを提供する提供装置と、提供装置からのデータの提供を受け、
10 単位図形を、複数のサブ単位図形に分割するクライアント装置とを備え、提供装置が、単位図形を入力するときに操作される操作手段（例えば、第 2 図に示す入力部 1 1 など）と、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用
15 ベクトル生成手段（例えば、第 2 図に示すデータ処理部 1 2 など）と、単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを、クライアント端末に提供する提供手段（例えば、第 2 図に示す送信／記録装置 1 8 など）とを有し、クライアント装置が、単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルとから、補間線を求める補間線算出手段（例えば、第 3 図に示す分割
20 処理部 2 4 など）と、補間線上の点である補間点を、サブ単位図形の頂点として求める補間点算出手段（例えば、第 3 図に示す分割処理部 2 4 など）と、サブ単位図形を、2 次元出力装置の座標系のものに変換する変換手段（例えば、第 3 図に示すレンダリング部 2 5 など）と、変換手段によって変換されたサブ単位図形をレンダリングするレンダリング手
25 段（例えば、第 3 図に示すレンダリング部 2 5 など）とを有することを特徴とする。

なお、勿論この記載は、各手段を上記したものに限定することを意味するものではない。

第1図は、本発明を適用したデータ提供システム（システムとは、複数の装置が論理的に集合した物をいい、各構成の装置が同一筐体中にあるか否かは問わない）の一実施の形態の構成例を示している。

このデータ提供システムにおいては、データ提供装置1側において生成された3次元画像のデータが、ユーザ端末4に提供されるようになされている。

即ち、データ提供装置1では、制作者によって、3次元画像のデータ、
10 即ち、3次元形状を構成するポリゴンのデータなどが生成され、例えば、インターネットや、衛星回線、地上波、CATV（Cable Television）網、PSTN（Public Switched Telephone Network）、ISDN（Integrated Services Digital Network）などの伝送媒体（伝送路）2を介して送信されることにより、ユーザ端末4に提供される。あるいは、
15 また、データ提供装置1で生成された3次元画像のデータは、光ディスクや、光磁気ディスク、磁気ディスク、磁気テープ、相変化ディスクなどの記録媒体3に記録されることにより、ユーザ端末4に提供される。

ユーザ端末4では、データ提供装置1から、上述のようにして提供されるデータが処理され、3次元画像が表示される。

20 第2図は、第1図のデータ提供装置1の構成例を示している。

入力部11は、キーボードやマウス、タブレットなどでなり、3次元形状を構成するポリゴンを作成するためのデータを入力するときや、ポリゴンにマッピングするテクスチャを指定するとき、さらには、必要なコマンドなどを入力するときなどに操作される。ここで、入力部11が
25 操作されることにより入力された3次元形状を構成するポリゴンを作成するためのデータは、データ処理部12に、ポリゴンにマッピングする

テクスチャの指定は、レンダリング部 1 5 に、コマンドは、必要なブロックに、それぞれ供給されるようになされている。

データ処理部 1 2 は、入力部 1 1 から供給されるポリゴンを作成するためのデータを、必要に応じて、メモリ 1 2 A を用いて処理することにより、3 次元空間におけるポリゴンの頂点の座標と、各頂点における、後述するような補間用ベクトルとを生成し、分割用データベース 1 3 に供給するようになされている。ここで、ポリゴンの頂点の座標および補間用ベクトルは、後述するポリゴンの分割処理に用いられるので、以下、適宜、両方あわせて、分割用ポリゴンデータという。

メモリ 1 2 A は、データ処理部 1 2 の処理上必要なデータを一時記憶するようになされている。分割データベース 1 3 は、データ処理部 1 2 からの分割用ポリゴンデータを一時記憶するようになされている。

分割処理部 1 4 は、分割データベース 1 3 に記憶された分割用ポリゴンデータを読み出し、後述するような分割処理（細分割処理）を施すことで、大まかなポリゴンを、複数の詳細なポリゴン（以下、適宜、サブポリゴンという）に分割し、レンダリング部 1 5 に供給するようになされている。

レンダリング部 1 5 は、分割処理部 1 4 からのサブポリゴンに対して、レンダリング処理を施すようになされている。即ち、レンダリング部 1 5 は、サブポリゴンに対して、シェーディングのための輝度計算などを行い、さらに、3 次元空間におけるポリゴンの座標系を、3 次元画像を表示する 2 次元出力装置としての表示部 1 6 の座標系（画面座標系）に変換する。そして、レンダリング部 1 5 は、テクスチャデータベース 1 7 に記憶されているテクスチャのデータを用いてテクスチャマッピングのためのテクスチャアドレスの計算を行うなどして、表示部 1 6 を構成する各画素の最終的な R G B 値（R（Red）成分、G（Green）成分、B

(Blue) 成分の輝度値) を求め、表示部 1 6 に出力する。なお、テクスチャマッピングに用いるテクスチャは、例えば、入力部 1 1 が操作されることにより指定されるようになされている。

表示部 1 6 は、例えば、C R T (Cathode Ray Tube) や液晶ディスプレイなどであり、レンダリング部 1 5 からの R G B 値に対応する画像を表示するようになされている。テクスチャデータベース 1 7 は、テクスチャマッピングに用いるテクスチャのデータを記憶している。送信／記録装置 1 8 は、分割用データベース 1 3 に記憶された分割用ポリゴンデータを読み出すとともに、テクスチャデータベース 1 7 に記憶されたテクスチャのデータを読み出し、伝送媒体 2 を介して伝送し、または記録媒体 3 に記録するようになされている。

次に、第 3 図は、第 1 図のユーザ端末 4 の構成例を示している。

受信／再生装置 2 1 は、伝送媒体 2 を介して伝送されてくるデータを受信し、または記録媒体 3 に記録されたデータを再生し、そのうちの分割用ポリゴンデータを分割用データベース 2 2 に、テクスチャのデータをテクスチャデータベース 2 7 に供給するようになされている。

分割用データベース 2 2 は、受信／再生装置 2 1 からの分割用ポリゴンデータを一時記憶するようになされている。ジオメトリ処理部 2 3 は、分割用データベース 2 2 に記憶された分割用ポリゴンデータを読み出し、入力部 2 8 からの入力に対応したジオメトリ処理、即ち、座標変換や、クリッピング (Clipping) 処理等を施して、分割処理部 2 4 に供給するようになされている。

分割処理部 2 4、またはその出力が供給されるレンダリング部 2 5 は、第 2 図のデータ提供装置 1 を構成する分割処理部 1 4 またはレンダリング部 1 5 における場合とそれぞれ同様の処理を行うようになされている。表示部 2 6 は、第 2 図のデータ提供装置 1 を構成する表示部 1 6 と同様

に構成され、レンダリング部 25 からの RGB 値に対応した 3 次元画像を表示するようになされている。

テクスチャデータベース 27 は、受信／再生装置 21 からのテクスチャのデータを記憶するようになされている。なお、このテクスチャのデータは、レンダリング部 25 で行われるテクスチャマッピングに用いられる。

入力部 28 は、例えば、キーボードや、マウス、ジョイスティック、ボタンなどでなり、所定の入力（例えば、特に、視点に関する情報）を入力するときに、ユーザによって操作される。

10 次に、第 2 図のデータ提供装置 1 および第 3 図のユーザ端末 4 における処理について説明するが、その前に、第 2 図のデータ提供装置 1 を構成する分割処理部 14 および第 3 図のユーザ端末（クライアント端末）4 を構成する分割処理部 24 において行われるポリゴンの分割処理について説明する。

15 3 次元画像における 3 次元形状を、ポリゴンによって表現する場合においては、より細かなポリゴンを用いることで、3 次元形状を、より忠実に再現することができる。しかしながら、細かなポリゴンを用いる場合には、3 次元形状を表現するポリゴンの数が増加するため、その多くのポリゴンについてのデータをすべて設定しなければならず、面倒であり、さらに、データ量も多くなる。

20 一方、3 次元形状を、少ない数のポリゴンで表現する場合においては、設定するデータは少なく済むが、再現される 3 次元形状が粗くなり、その結果、3 次元画像の品質が劣化する。

ここで、一般に行われているポリゴンの分割は、3 次元形状を構成する
25 細かなポリゴンの幾つかをあわせて、大きなポリゴンを構成しておき、必要に応じて、その大きなポリゴンと元の細かなポリゴンを選択するも

のであるため、3次元形状を構成するときに設定しなければならないデータは、3次元形状を、細かなポリゴンで構成する場合と変わらない。

分割処理部14および24において行われるポリゴンの分割処理（従来のポリゴン分割と区別するために、以下、適宜、細分割処理ともいう）

- 5 では、最初から大まかなポリゴンが、滑らかな3次元形状を与えるような詳細な（細かな）ポリゴンに分割されるようになされており、これにより、実現しようとする3次元形状についての詳細なデータを与えなくても、その形状についての、いわば大まかなデータを与えるだけで、微細な3次元形状を得ることができるようになされている。

- 10 即ち、分割処理部14および24に対しては、分割用ポリゴンデータとして、ポリゴンの頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトル、および頂点の座標が、少なくとも与えられるようになされており、細分割処理では、補間用ベクトルおよび頂点の座標から、2つの頂点の間を補間する線である補間線が求
15 められ、その補間線上の点である補間点が、元のポリゴンを分割するサブポリゴンの頂点として求められるようになされている。

- ここで、ポリゴンにより構成される3次元画像のデータとしては、一般に、ポリゴンの各頂点の座標が、そのポリゴンの形状を特定するために与えられる。さらに、3次元画像のデータとしては、ポリゴンによっ
20 て実現しようとする3次元形状を構成する曲面の、ポリゴンの各頂点における法線ベクトルも、シェーディングのために与えられる。

そこで、細分割処理では、ポリゴンの各頂点における法線ベクトルを補間用ベクトルとして用い、2つの頂点の間を補間する補間線が求められるようになされている。

- 25 即ち、いま説明を簡単にするために、第4図に示すように、2次元形状を構成するポリゴンの2頂点 P_1 および P_2 と、頂点 P_1 、 P_2 それぞれ

における法線ベクトル n_1 , n_2 とが与えられているとし、この場合に、頂点 P_1 と P_2 との間を補間する補間線の算出方法について説明する。

なお、本実施の形態においては、補間線は、例えば、その補間線が補間する 2 つの頂点を通る円または楕円の円弧に等しくなるのが理想的であるとし、そのような補間線を求めることとする。ここで、すべての滑らかな曲線は、微少な円弧（円および楕円の円弧の両方を含む）の連続で近似することができるから、ここでは、円弧を近似することができる関数によって表現される曲線を補間線として採用する。

いま、第 5 図に示すように、頂点 P_1 と P_2 とを通る 2 次元形状の、頂点 P_1 , P_2 における接線ベクトルを考え（法線ベクトル n_1 , n_2 は、2 次元形状に垂直な方向であるので、この法線ベクトル n_1 , n_2 から、接線ベクトルを求めることができる）、頂点 P_1 または P_2 における接線ベクトルそれぞれと、頂点 P_1 と P_2 とを結ぶ線分 P_1P_2 とがなす角度を、 θ_1 または θ_2 とする。この場合、 θ_1 と θ_2 とが等しければ、頂点 P_1 と P_2 の両方を通る円の円弧を、補間線とすることができる。

ところで、 θ_1 と θ_2 とが等しい場合には、頂点 P_1 と P_2 の両方を通る、例えば円の円弧を、補間線とし、また、 θ_1 と θ_2 とが幾分異なる場合には、頂点 P_1 と P_2 の両方を通る、例えば楕円の円弧を、補間線とし、さらに、 θ_1 と θ_2 とが大きく異なる場合には、頂点 P_1 と P_2 の両方を通る、例えばスプライン曲線を、補間線とするとといったように、 θ_1 と θ_2 との関係を条件として、補間線とする曲線を選択するのでは、 θ_1 と θ_2 との関係が変化したときに、補間線が連続的に変化しないことがある。

そこで、ここでは、補間線として、 θ_1 と θ_2 との関係にかかわらずなく、一律に例えば、ベジエ (Bezier) 曲線を採用する（正確には、Bezier における B の後の e の上部には、' が付される）。また、ベジエ曲線の次数は、任意の θ_1 , θ_2 を与えることができるように、例えば、3 次とする。

3 次のベジェ曲線は、4 つの制御点で特定されるが、そのうちの 2 つは、ベジェ曲線の始点と終点に一致する。また、残りの 2 つの制御点は、ベジェ曲線の始点または終点における接線上に 1 つずつ存在する。

一方、頂点 P_1 または P_2 における接線ベクトルは、法線ベクトル n_1 または n_2 それぞれに基づいて決まるから、法線ベクトル n_1 または n_2 が与えられていることで、頂点 P_1 または P_2 を通るベジェ曲線の接線方向は特定される。また、補間線であるベジェ曲線の始点または終点は、それぞれ、頂点 P_1 または P_2 (あるいは、 P_2 または P_1) によって与えられる。従って、頂点 P_1 と P_2 との間を補間する補間線としての 3 次の
 10 ベジェ曲線は、頂点 P_1 または P_2 における接線ベクトルそれぞれの方向にある制御点が求まれば、一意に特定される。

そこで、いま、第 6 図に示すように、頂点 P_1 における接線ベクトルの方向にある制御点を Q_1 とするとともに、頂点 P_2 における接線ベクトルの方向にある制御点を Q_2 として、線分 $P_1 Q_1$ の長さ L_1 、および線分
 15 $P_2 Q_2$ の長さ L_2 を求めることを考える (以下、適宜、 L_1 、 L_2 を、制御辺長という)。

まず、補間線となる 3 次のベジェ曲線 B は、パラメータ t ($0 \leq t \leq 1$)、4 つの制御点 (の座標) P_1 、 P_2 、 Q_1 、 Q_2 を用いて次式で表される。

$$20 \quad B = (1-t)^3 P_1 + 3(1-t)^2 t Q_1 + 3(1-t) t^2 Q_2 + t^3 P_2 \quad \dots (1)$$

いま、第 6 図において、 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ とすると、上述のように、ここでは、補間線は円の円弧となるのが理想的であるから、例えば、その円の中心 C を原点にとり、線分 $P_1 P_2$ が、 x 軸と平行になるように、第 6
 25 図を書き直すと、第 7 図に示すようになる。なお、第 7 図において、 R は、 y 軸と、補間線となる円の円弧との交点 (の y 座標) を表し、この

交点Rは、式(1)において、 $t = 0.5$ とすることにより求めることができる。ここで、線分RCは、補間線となる円の円弧の半径であり、いまの場合、中心Cは原点にあるから、円の半径はRである。

補間線が円の円弧の場合、制御辺長 L_1 と L_2 とは等しくなるから、これを、 $L (= L_1 = L_2)$ とおくと、第7図より、次式が成立する。

$$P_{1y} = P_{2y} = R \cos \theta, \quad Q_{1y} = Q_{2y} = P_{1y} + L \sin \theta \quad \dots (2)$$

但し、 P_{1y} 、 Q_{1y} は、制御点 P_1 、 Q_1 のy座標を、 P_{2y} 、 Q_{2y} は、制御点 P_2 、 Q_2 のy座標を、それぞれ表す。

10 また、交点Rは、式(1)において、 t を 0.5 とするとともに、 P_1 、 P_2 、 Q_1 、 Q_2 に、式(2)の P_{1y} 、 P_{2y} 、 Q_{1y} 、 Q_{2y} をそれぞれ代入することにより、次式で表される。

$$R = R \cos \theta / 4 + 3 / 4 (R \cos \theta + L \sin \theta) \quad \dots (3)$$

15 式(2)および(3)を、制御辺長Lについてとき、それを、弦 P_1P_2 の長さ($2R \sin \theta$)で除算すると、弦 P_1P_2 の長さを1に正規化したときの制御辺長 L' ($= L / (2R \sin \theta)$)を求めることができ、これは、次式に示すようになる。

$$L' = 2 / (3 (1 + \cos \theta)) \quad \dots (4)$$

20

式(4)により、制御辺長 L' が求まった後は、その制御辺長 L' と、頂点 P_1 または P_2 とを用いることで、制御点 Q_1 または Q_2 をそれぞれ求めることができ、従って、補間線としてのベジェ曲線が特定される。

25 以上は、 θ_1 と θ_2 とが等しい場合であるが、 θ_1 と θ_2 とが異なる場合も、1軸の拡大/縮小変換を行うことで、 θ_1 と θ_2 とが等しい場合と同様にして、制御点 Q_1 および Q_2 を求めることができる。

- 即ち、 θ_1 と θ_2 とが異なる場合においては、例えば、第8図(A)に示すように、頂点 P_1 、 P_2 、および頂点 P_1 または P_2 それぞれにおける接線どうしの交点 P_1 で構成される三角形が不等辺三角形になる（これに対して、第7図における場合には、二等辺三角形になっている）が、
- 5 いま、この不等辺三角形の辺 P_1P' または P_2P' の長さを、それぞれ k_1 または k_2 とする。また、辺 P_1P_2 の長さを K とする。

この場合、次式が成立する。

$$k_1 \sin \theta_1 = k_2 \sin \theta_2, \quad k_1 \cos \theta_1 + k_2 \cos \theta_2 = K \quad \dots (5)$$

- 10 なお、 K は、頂点 P_1 および P_2 の座標から求めることができる。

式(5)を、 k_1 、 k_2 それぞれについて解くと、次式のようになる。

$$\begin{aligned} k_1 &= K \sin \theta_2 / (\sin \theta_2 \cos \theta_1 + \cos \theta_2 \sin \theta_1) \\ k_2 &= K \sin \theta_1 / (\sin \theta_2 \cos \theta_1 + \cos \theta_2 \sin \theta_1) \end{aligned} \quad \dots (6)$$

- 15 一方、例えば、第8図(B)に示すように、点 P_2 から、直線 P_1P' におろした垂線を V として、点 P_2 を、垂線 V 上を移動し、これにより、三角形 P_1P_2P' を、例えば、第8図(C)に示すように、三角形 $P_1P_2'P'$ に変形（拡大変換または縮小変換）した場合においては、変形前の三角形 P_1P_2P' における制御点 P_2 から Q_2 までの制御辺長 L_2
- 20 と、変形後の三角形 $P_1P_2'P'$ における制御点 P_2' から Q_2' までの制御辺長 L_2' との比は、変形前の三角形 P_1P_2P' における辺 P_2P' の長さ k_2 と、変形後の三角形 $P_1P_2'P'$ における辺 $P_2'P'$ の長さ k_2' の比に等しくなり、その結果、次式が成り立つ。

$$k_2 : k_2' = L_2 : L_2' \quad \dots (7)$$

25

従って、変形後の三角形 $P_1P_2'P'$ を、辺 P_1P' の長さと、辺 P_2'

- P' の長さが等しい二等辺三角形とすれば（但し、1 軸の拡大／縮小変換による変形後の三角形 $P_1 P_2' P'$ を二等辺三角形とするには、 θ_1 と θ_2 とが、弦 $P_1 P_2$ に対して、同じ側に形成されている必要がある）、式（4）により、制御辺長 L_2' を求めることができ、さらに、式（6）
- 5 および（7）から制御辺長 L_2 を求めることができる。即ち、次式により、制御辺長 L_2 を求めることができる。

$$L_2 = K \times k_2 \times 2 \times \cos \theta' \times 2 / (3 (1 + \cos \theta')) \quad \dots (8)$$

同様に、制御辺長 L_1 は、次式により求めることができる。

10
$$L_1 = K \times k_1 \times 2 \times \cos \theta' \times 2 / (3 (1 + \cos \theta')) \quad \dots (9)$$

- ここで、式（8）および（9）における θ' は、変形後の三角形 $P_1 P_2' P'$ における辺 $P_1 P_2$ と辺 $P_2' P'$ とがなす角度（第8図（C）における θ_2' ）（または辺 $P_1 P_2$ と辺 $P_1 P'$ がなす角度（第8図（C）
- 15 における θ_1' ）を表す（ $\theta_1 = \theta_2$ ）。

以上のようにして、制御辺長 L_1 または L_2 が求まった後は、頂点 P_1 または P_2 から、制御点 Q_1 または Q_2 をそれぞれ求めることができ、これにより、補間線としてのベジェ曲線が特定される。

- なお、 θ' は、縮小変換を数式で表現することにより正確に求めることができるが、本実施の形態では、計算量の増加を低減するため、 $\cos \theta'$ を、次式で表される s に近似することとする。
- 20

$$\cos \theta' \quad s = (\cos \theta_1 + \cos \theta_2) / 2 \quad \dots (10)$$

この場合、制御辺長 L_1 、 L_2 は、次式にしたがって求められる。

25
$$L_1 = K \times k_1 \times 2 \times s \times 2 / (3 (1 + s))$$

$$L_2 = K \times k_2 \times 2 \times s \times 2 / (3 (1 + s))$$

... (11)

次に、第9図のフローチャートを参照して、補間線であるベジェ曲線を特定するための制御点 Q_1 および Q_2 の算出方法（制御点算出処理）について、さらに説明する。

- 5 制御点 Q_1 および Q_2 の算出にあたっては、まず最初に、ステップS1において、第8図（A）に示した三角形 P_1P_2P' の辺 P_1P' または P_2P' の長さ k_1 または k_2 が、式（6）にしたがって求められ、ステップS2に進む。ステップS2では、三角形 P_1P_2P' を拡大／縮小変換することにより、第8図（C）に示したような二等辺三角形 P_1P_2P' に変形したときの底角 θ' （ $=\theta_1'=\theta_2'$ ）の余弦（コサイン）の近似値 s が、式（10）にしたがって求められ、ステップS3に進む。ステップS3では、式（11）が計算されることにより、制御辺長 L_1 、 L_2 が求められ、これにより、制御点 Q_1 、 Q_2 が求められる。
- 10

- ここで、 $K=1$ として、制御点 Q_1 および Q_2 を求め、その制御点 Q_1 および Q_2 により特定されるベジェ曲線である補間線を求めたシミュレーション結果を、第10図乃至第13図に示す。なお、第10図乃至第13図において、（A）は、補間線の曲率半径を、（B）は、補間線の形状を、それぞれ示している。また、第10図は、 $\theta_1=\theta_2=18$ 度とした場合を、第11図は、 $\theta_1=18$ 度、 $\theta_2=22$ 度とした場合を、第12図は、 $\theta_1=28$ 度、 $\theta_2=32$ 度とした場合を、第13図は、 $\theta_1=20$ 度、 $\theta_2=60$ 度とした場合を、それぞれ示している。
- 15
- 20

- 以上は、2次元形状を構成するポリゴンについてであるが、3次元形状を構成するポリゴンについては、その2つの頂点 P_1 または P_2 それぞれにおける法線ベクトル n_1 または n_2 どうしが、一般に、互いにねじれの位置にある。そこで、第14図に示すように、線分 P_1P_2 と、その線分 P_1P_2 を、頂点 P_1 を含む平面であって、法線ベクトル n_1 に垂直な平
- 25

面に投影（正射影）したものとがなす角度を、式（6）および（10）の θ_1 として採用する。即ち、線分 P_1P_2 を、頂点 P_1 を含む平面であって、法線ベクトル n_1 に垂直な平面に投影したものの方向の単位ベクトルを、3次元形状の、頂点 P_1 における接線ベクトルとして、その接線ベクトルと、線分 P_1P_2 とがなす角度を、式（6）および（10）の θ_1 とする。

同様に、線分 P_1P_2 と、その線分 P_1P_2 を、頂点 P_2 を含む平面であって、法線ベクトル n_2 に垂直な平面に投影したものとがなす角度を、式（6）および（10）の θ_2 として採用する。

10 以下、第9図で説明したようにして、制御点 Q_1 および Q_2 を求めることで、頂点 P_1 と P_2 との間を補間する補間線としてのベジェ曲線を求めることができる。この場合、補間線としてのベジェ曲線は、一般に、空間的にねじれた曲線になるが、ふくらみ方が円または楕円に近いものとなるので、結果的には、頂点 P_1 と P_2 との間を滑らかに補間するものになる。

15 以上のようにして、補間線を求めた後は、細分割処理では、上述したように、その補間線上の点である補間点が、元のポリゴンを分割するサブポリゴンの頂点として求められるが、この補間点は、補間線としてのベジェ曲線を表す式（1）のパラメータ t に、適当な値を入力することで求めることができる。

20 ここで、頂点 P_1 と P_2 との間を M 分割する場合には、その間に、 $M-1$ 個の補間点を設定すれば良く、この場合、パラメータ t を、例えば、 i/M （ $i=1, 2, \dots, M-1$ ）として、式（1）を計算すれば良い。

25 次に、例えば、第15図に示すような、4つの頂点 P_1 乃至 P_4 を有し、線分 P_1P_2 と P_3P_4 とが対向するとともに、線分 P_1P_3 と P_2P_4 とが

対向する、3次元形状を構成する四角形ポリゴン $P_1P_2P_4P_3$ に対して、細分割処理を施す場合について説明する。

いま、頂点 P_1 と P_2 との間を、例えば、2分割するとすると（この場合、線分 P_1P_2 と対向する頂点 P_3 と P_4 との間も2分割される）、第9
 5 図で説明したようにして、頂点 P_1 と P_2 との間を補間する補間線 B_{12} （第1の補間線）が求められるとともに、頂点 P_3 と P_4 との間を補間する補間線 B_{34} （第2の補間線）が求められる。そして、パラメータ t を、例えば、0.5として、式（1）を計算することにより、補間線 B_{12} または B_{34} 上に、補間点 P_{12} または P_{34} が求められる。

10 これにより、四角形ポリゴン $P_1P_2P_4P_3$ は、四角形ポリゴン $P_1P_{12}P_{34}P_3$ と $P_{12}P_2P_4P_{34}$ との2つのサブポリゴンに分割される。

さらに、頂点 P_1 と P_3 との間、および頂点 P_2 と P_4 との間を、例えば、いずれも2分割する場合には、やはり第9図で説明したようにして、頂点 P_1 と P_3 との間を補間する補間線 B_{13} （第3の補間線）が求められる
 15 とともに、頂点 P_2 と P_4 との間を補間する補間線 B_{24} （第4の補間線）が求められる。そして、パラメータ t を、例えば、0.5として、式（1）を計算することにより、補間線 B_{13} または B_{24} 上に、補間点 P_{13} または P_{24} が求められる。

また、この場合、既にサブポリゴンの頂点として求められている補間
 20 点 P_{12} と P_{34} との間を補間する補間線 B_{1234} （第5の補間線）も、第9図で説明したようにして求められる。そして、パラメータ t を、例えば、0.5として、式（1）を計算することにより、補間線 B_{1234} 上に、補間点 P_{1234} が求められる。

以上により、四角形ポリゴン $P_1P_2P_4P_3$ は、四角形ポリゴン $P_1P_{12}P_{1234}P_{13}$ 、 $P_{12}P_2P_{24}P_{1234}$ 、 $P_{1234}P_{24}P_4P_{34}$ 、および
 25 $P_{13}P_{1234}P_{34}P_3$ の4つのサブポリゴンに分割される。

なお、ここでは、四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ を、 2×2 (横×縦) のサブポリゴンに分割することとしたが、四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ を、 $M \times N$ のサブポリゴンに分割する場合においては、頂点 P_1 と P_2 との間、および頂点 P_3 と P_4 との間を、いずれも M 分割するとともに、頂点 P_1 と P_3 との間、および頂点 P_2 と P_4 との間を、いずれも N 分割し、さらに、頂点 P_1 と P_2 との間を M 分割する $M-1$ 個の補間点と、頂点 P_3 と P_4 との間を M 分割する M 個の補間点の、対応するものどうしの間を N 分割すれば良い。但し、四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ を、細分割処理によって、2つのサブポリゴン $P_1 P_{12} P_{34} P_3$ および $P_{12} P_2 P_4 P_3$ に分割し、その2つのサブポリゴン $P_1 P_{12} P_{34} P_3$ または $P_{12} P_2 P_4 P_{34}$ それぞれを、細分割処理によって、さらに2つのサブポリゴンに分割するようなことを繰り返すことにより、四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ を、多くのサブポリゴンに分割することも可能である。

ところで、細分割処理では、2つの頂点の間を補間する補間線は、その2つの頂点の座標と法線ベクトルとを用いて求められるから、例えば、第15図に示した場合においては、補間点 P_{12} と P_{34} との間を補間する補間線 B_{1234} を求めるに当たって、補間点 P_{12} または P_{34} それぞれにおける法線ベクトル n_{12} または n_{34} が必要となる。また、他の補間点とこの間の補間線が求められない補間点 (第15図における場合には、補間点 P_{13} , P_{24} , P_{1234}) であっても、補間点は、サブポリゴンの頂点となるから、レンダリング処理におけるシェーディングを行うにあたって、法線ベクトルが必要となる。

そこで、サブポリゴンの頂点 (元のポリゴンの頂点となっているものを除く) における法線ベクトルは、ここでは、例えば、次のようにして求められるようになっている。

即ち、頂点 P_1 と P_2 との間を分割する補間点 P_{12} を例にすると、その

法線ベクトル n_{12} は、第 16 図に示すように、頂点 P_1 における法線ベクトル n_1 と、頂点 P_2 における法線ベクトル n_2 とを用いた線形補間を行うことで求められる。

- 具体的には、補間線 B_{12} 上の補間点 P_{12} を求めるときに、式 (1) に
 5 代入したパラメータ t を T とすると、次式にしたがい、法線ベクトル n_1 の $(1-T)$ 倍と、法線ベクトル n_2 の T 倍との加算値に対応するものの単位ベクトル nn_{12} が求められる。

$$nn_{12} = ((1-T)n_1 + Tn_2) / |(1-T)n_1 + Tn_2| \quad \dots (12)$$

- 10 なお、 $|x|$ は、ベクトル x のノルムを表す。

ここで、式 (12) により得られるベクトル nn_{12} は、フォーンシェーディング (Phong Shading) において求められる法線ベクトルに等しい。

- 補間点 P_{12} における法線ベクトル n_{12} として、ベクトル nn_{12} をそのまま採用しても良いが、ベクトル nn_{12} は、法線ベクトル n_1 と n_2
 15 とを用いての線形補間により得られたものであるから、補間線 B_{12} の形状を、忠実に反映しているとは言い難い。そこで、ここでは、ベクトル nn_{12} を、次のように補正し、その補正の結果得られるベクトルを、補間点 P_{12} における法線ベクトル n_{12} として採用することとする。

- 即ち、まず、補間点 P_{12} における、補間線 B_{12} の接線ベクトル s_{12}
 20 を求める。ここで、接線ベクトル s_{12} は、式 (1) から求めることができる。

さらに、次式にしたがい、ベクトル nn_{12} と接線ベクトル s_{12} との外積 nn_{12}' を求める。

$$nn_{12}' = nn_{12} \times s_{12}$$

- 25 $\dots (13)$

そして、接線ベクトル s_{12} とベクトル nn_{12}' との外積を求め、次式

に示すように、これを、補間点 P_{12} における法線ベクトル n_{12} とする。

$$n_{12} = S_{12} \times n n_{12}' \quad \dots (14)$$

ここで、式 (13) および (14) における \times は、ベクトルの外積を表す。

以上のようにして求められる法線ベクトル n_{12} は、ベジェ曲線である補間線 B_{12} の形状を忠実に表現するから、これを用いてシェーディング（ハイライト計算等）を行うことで、補間線 B_{12} の形状を精度良く反映した輝度分布の画像を得ることが可能となる。

10 以上のように、細分割処理によれば、補間用ベクトルとして法線ベクトルを用い、その法線ベクトルおよび頂点の座標から、2つの頂点の間を補間する補間線が求められ、その補間線上の点である補間点が、元のポリゴンを分割するサブポリゴンの頂点として求められるので、大まかな形状のポリゴンから、微細な3次元形状を構成することができる。

15 なお、ここでは、補間の局所性が保たれているため、即ち、例えば、第15図において、頂点 P_1 と P_2 との間を分割する補間点のいずれの法線ベクトルも、頂点 P_1 における法線ベクトル n_1 および頂点 P_2 における法線ベクトル n_2 から求められるため、四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ を分割して得られるサブポリゴンと、辺 $P_1 P_2$ において四角形ポリゴン
20 $P_1 P_2 P_4 P_3$ と接する他のポリゴンを分割して得られるサブポリゴンとは、連続に接続されるので、滑らかな3次元形状を得ることができる。

また、上述の場合においては、四角形ポリゴンを対象としたが、細分割処理は、四角形以外の多角形のポリゴンを対象として行うことが可能である。例えば、三角形ポリゴンを対象とする場合には、上述の四角形
25 ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ を構成する頂点 P_1 と P_2 、 P_3 と P_4 、 P_1 と P_3 、または P_2 と P_4 のうちのいずれか1組が同一の頂点となっていると考

えることで、三角形ポリゴンに対して、四角形ポリゴンにおける場合と同様に、細分割処理を施すことができる。

- ここで、細分割処理後のサブポリゴンに対して、テクスチャマッピングを施すには、サブポリゴンの頂点におけるテクスチャ座標が必要となるが、これは、例えば、第 16 図で説明した補間点 P_{12} における法線ベクトル $n_{n_{12}}$ を求めるのと同様にして求めることができる。即ち、上述しなかったが、データ提供装置 1 において生成される 3 次元画像のデータには、分割用ポリゴンデータおよびテクスチャのデータの他に、元のポリゴンの各頂点におけるテクスチャ座標も含まれており、例えば、頂点 P_1 と P_2 との間を分割する補間点 P_{12} におけるテクスチャ座標は、頂点 P_1 におけるテクスチャ座標と、頂点 P_2 におけるテクスチャ座標とを、補間点 P_{12} を求めるのに式 (1) に代入したパラメータ t に対応する比 $1-t:t$ にしたがって加算 (線形補間) することで求めることができる。
- 15 なお、頂点 P_1 と P_2 との間の補間線 B_{12} の形状が偏っている場合 (例えば、頂点 P_1 または P_2 のうちのいずれか一方に近い部分の曲率半径が大きく、他方に近い部分の曲率半径が小さい場合など) には、上述のような線形補間によって求められたテクスチャ座標を用いてテクスチャマッピングを行うと、テクスチャに歪みが生じることがある。即ち、補間点 P_{12} を求めるのに式 (1) に代入したパラメータ t が、それがとりうる範囲の値のうちの、例えば、中点の値である 0.5 であるが、補間線 B_{12} の形状が偏っているために、補間線 B_{12} に沿っての距離が、頂点 P_1 または P_2 のうちの、例えば、頂点 P_1 に極端に近い位置に、補間点 P_{12} が設定された場合に、線形補間によって求められたテクスチャ座標を用いてテクスチャマッピングを行うと、テクスチャに歪みが生じる。
- 25

このようなテクスチャの歪みが問題となる場合においては、補間線 B

- P_1 、 P_2 に沿っての線積分を行い、頂点 P_1 または P_2 それぞれから補間点 P_{12} までの補間線 B_{12} に沿っての距離を求め、その距離に応じて、補間点 P_{12} におけるテクスチャ座標を線形補間によって求めるときに用いる比を補正するようにすれば良い。即ち、補間点 P_{12} におけるテクスチャ座標を線形補間によって求めるときに用いる比を、頂点 P_1 から補間点 P_{12} までの補間線 B_{12} に沿っての距離と、頂点 P_2 から補間点 P_{12} までの補間線 B_{12} に沿っての距離との比に近づける（等しくなる）ように補正すれば良い。

- 次に、多くの場合、補間用ベクトルとして、頂点における法線ベクトルを用いて、細分割処理を行うことで、滑らかな3次元形状を実現することができるが、実現しようとする3次元形状によっては、頂点における法線ベクトルだけを、補間用ベクトルとして用いるのでは、不具合が生じることがある。

- 即ち、例えば、回転軸を中心に平面形状を回転することで構成される円柱などの回転体や、それに近い3次元形状などについては、その3次元形状を構成するポリゴンのある頂点 a における法線ベクトルに垂直な平面に、その頂点 a と他の頂点 b （但し、頂点 b は、頂点 a に隣接する頂点）とを結ぶ線分を正射影したものの方向と、頂点 a と b とを結ぶ、実現しようとする3次元形状に沿った曲線（以下、適宜、粋線という）の、頂点 a における接線方向（以下、適宜、粋線方向という）とのずれが大きくなる場合があり、このような場合に、上述したような細分割処理を行うと、頂点 a と b とを結ぶ補間線が、いわば折れ曲がった状態となり、特に、テクスチャマッピングを行った場合に、テクスチャが不自然に見える。

- 具体的には、大まかなポリゴンで、例えば、第17図(A)に示すような3次元形状を構成しておき、これを、回転軸 Y を回転して得られる

ような3次元形状を実現しようとする場合には、第17図(A)の3次元形状を構成する1のポリゴンpの辺1と2との交点である頂点aにおける法線ベクトルAは、ポリゴンpに対してほぼ垂直な方向である斜め上方向のベクトルとなる。この場合、頂点aにおける法線ベクトルに垂直な平面に、その頂点aと、ポリゴンpの他の頂点bとを結ぶ線分ab(辺1)を正射影したものの方向と、頂点aにおける枠線方向とのずれは大きくなる。即ち、いまの場合、法線ベクトルAは、斜め上方向のベクトルであるから、法線ベクトルに垂直な平面に、線分ab(辺1)を正射影したものの方向は、回転軸Yに垂直な平面に対して傾きをもったものとなる。一方、頂点aにおける枠線方向は、回転軸Yを中心として、ポリゴンpを回転した場合に、頂点aの軌跡である円の、頂点aにおける接線方向になるから、回転軸Yに垂直な平面と平行になる。

この場合、ポリゴンpに対して、細分割処理を施すと、第17図(B)に示すように、頂点aとbとの間を補間する補間線が折れ曲がり、滑らかな3次元形状を構成することが困難となる。

また、ポリゴンに細分割処理を施し、それにより得られるサブポリゴンで構成される3次元形状を、特定の形状にする必要がなく、また、上述のような補間線の折れ曲がり問題とならない場合には、頂点における法線ベクトルだけを、補間用ベクトルとして用いれば足りる。しかしながら、上述のような補間線の折れ曲がり問題となる場合の他、サブポリゴンで構成される3次元形状を、特定の形状にすることが必要な場合には、頂点における法線ベクトルだけを、補間用ベクトルとして用いるのでは、その特定の形状を実現できないことがある。

即ち、例えば、第18図に示すように、四角形ポリゴンabcdに対して、細分割処理を施し、これにより、同図に点線で示すような円柱の底面である円Oを構成しようとする場合においては、四角形ポリゴンa

b d c を、円柱の底面となる円 O を構成するようなサブポリゴンに分割する必要がある。しかしながら、この場合、頂点 a 乃至 d それぞれにおける法線ベクトル A 乃至 D としては、底面となる円 O に垂直な方向のベクトルが与えられるため、このような法線ベクトル A 乃至 D を用いて、
5 細分割処理を行うと、四角形ポリゴン a b d c は、辺 a b (c d) や辺 a c (b d) に平行な方向に分割される。即ち、円 O を構成するようなサブポリゴンには分割されない。

これは、第 17 図で説明したことと同様の理由による。即ち、第 18 図では頂点 a における法線ベクトル A に垂直な平面に、その頂点 a と、
10 他の頂点である頂点 b とを結ぶ線分を正射影したものの方向は、線分 a b の方向に一致する。一方、頂点 a と b とを結ぶ、実現しようとする 3 次元形状に沿った曲線、つまり粋線は、円 O を構成する円弧 a b であり、その円弧 a b の、頂点 a における接線方向、つまり粋線方向は、円 O の点 a における接線方向である。従って、円柱を構成する四角形ポリゴン a b d c の頂点 a における法線ベクトル A に垂直な平面に、線分 a b
15 を正射影したものの方向と、頂点 a における粋線方向とのずれが大きく、このため、四角形ポリゴン a b d c は、円 O を構成するようなサブポリゴンには分割されない。即ち、細分割処理によれば、頂点 a と b との間を補間する補間線が、頂点 a における法線ベクトル A に垂直な平面への、
20 線分 a b の正射影に接し、かつ頂点 b における法線ベクトル B に垂直な平面への、線分 a b の正射影に接するように形成されるのに対して、頂点 a と b とを結ぶ、実現しようとする円柱に沿った曲線である粋線が、円弧 a b であるため、補間線と粋線とが異なり、四角形ポリゴン a b d c は、粋線である円 O (の円周) を構成するようなサブポリゴンには分
25 割されない (辺 a b , c d , a c , b d それぞれを、そのまま補間線として分割されるだけである) 。

そこで、ある頂点における補間用ベクトルとして、その頂点における法線ベクトルの他に、その頂点を通る稜線方向（稜線方向）を表すベクトル（補間線方向ベクトル）を採用する。稜線方向を表すベクトルを、補間用ベクトルとして用い、細分割処理を行った場合においては、補間
5 線が、稜線と一致するように形成されるから（これは、稜線方向を表すベクトルが、それを用いて細分割処理を行った場合に、稜線と一致するような補間線を構成させるものであるからである）、ポリゴンは、実現しようとする3次元形状を構成するようなサブポリゴンに分割される。

頂点における稜線方向を表すベクトルとしては、例えば、その稜線の、
10 頂点における接線ベクトル（2次元平面における曲線の傾きに相当する）や、稜線の、頂点における法線ベクトル（稜線の法線ベクトルの定義については、後述する）があるが、ここでは、稜線の法線ベクトルを採用することとする。

なお、シェーディングのために与えられる、頂点における法線ベクトル（実現しようとする3次元形状の法線方向のベクトル）を用いて、細
15 分割処理を行った場合には、その法線ベクトルが、実現しようとする3次元形状である曲面の法線方向を向いているために、ポリゴンが、実現しようとする3次元形状である曲面を構成するようなサブポリゴンに分割される。即ち、シェーディングのために与えられる、頂点における法
20 線ベクトルを、補間用ベクトルとして用いて、細分割処理を行った場合には、実現しようとする3次元形状である曲面を、いわば補間するようなサブポリゴンに分割される。そこで、以下、適宜、この法線ベクトルを、曲面補間用法線ベクトルという。

一方、稜線の法線ベクトルを用いて、ポリゴンの細分割処理を行った
25 場合には、そのポリゴンを構成する辺が、稜線、つまり、実現しようとする3次元形状である曲面を構成する曲線（曲面に含まれる曲線）を、

いわば補間するような辺を有するサブポリゴンに分割される。以下、適宜、この法線ベクトルを、枠線補間用法線ベクトルという。

細分割処理によって得られるサブポリゴンによって、例えば、第18図に点線で示した円柱を構成させる場合、四角形ポリゴン $abcd$ の頂点 a 乃至 d における曲面補間用法線ベクトルは、それぞれ法線ベクトル A 乃至 D となり、頂点 a 乃至 d における枠線補間用法線ベクトルは、円 O の中心から、頂点 a 乃至 d に向かって伸ばした直線の方

5 向の単位ベクトルとなる。

補間用ベクトルとして、曲線補間用法線ベクトルだけでなく、枠線補間用法線ベクトルも採用した場合においては、細分割処理の対象となる元のポリゴンにおける隣接する頂点の間の補間点（例えば、第15図における補間点 P_{12} , P_{34} , P_{13} , P_{24} ）を求めるときには、枠線補間用法線ベクトルが用いられ、元のポリゴンにおける、いわば内部の補間点（例えば、第15図における補間点 P_{1234} ）を求めるときには、曲面補間用法線ベクトルが用いられる。

10 15

例えば、第18図に示した四角形ポリゴン $abcd$ に対して、このような細分割処理を施した場合には、頂点 a と b との間、頂点 b と d との間、頂点 d と c との間、頂点 c と a との間については、いずれも、枠線補間用法線ベクトルを、補間用ベクトルとして用い、上述したようにして、補間点が求められる。その結果、補間点は、円弧 ab , bd , dc , ca 上に形成される。また、四角形ポリゴン $abcd$ の内部については、曲面補間用法線ベクトルを、補間用ベクトルとして用い、上述したようにして、補間点が求められる。その結果、補間点は、円 O を含む平面内に形成される。その結果、四角形ポリゴン $abcd$ は、円 O を構成する

20 25

ようなサブポリゴンに分割される。

即ち、例えば、四角形ポリゴン $abcd$ を、辺 ab (cd) および a

- c (b d) のいずれの方向にも 2 分割して、4 つのサブポリゴンを生成するような細分割処理を施す場合において、第 19 図 (A) に示すように、頂点 a 乃至 d に対して、円 O の中心から頂点 a 乃至 d の方向への枠線補間用法線ベクトルがそれぞれ与えられているとともに、円 O に対して垂直な方向 (第 19 図 (A) では、図面から垂直な方向に飛び出る方向) の曲面補間用法線ベクトルがそれぞれ与えられているときには、まず、頂点 a と b との間または頂点 c と d との間について、枠線補間用法線ベクトルを、補間用ベクトルとして用いて、円弧 a b または c d がそれぞれ補間線として求められ、第 19 図 (B) に示すように、それぞれの補間線上に、補間点 e または f が設定される。また、頂点 a と c との間または頂点 b と d との間についても、枠線補間用法線ベクトルを、補間用ベクトルとして用いて、円弧 a c または b d がそれぞれ補間線として求められ、第 19 図 (C) に示すように、それぞれの補間線上に、補間点 g または h が設定される。
- さらに、例えば、補間点 e と f との間 (または補間点 g と h との間) について、曲線補間用法線ベクトルを、補間用ベクトルとして用いて、線分 e f が補間線として求められ、第 19 図 (D) に示すように、その補間線上に、補間点 i が設定される。その結果、四角形ポリゴン a b d c は、第 19 図 (D) に示すように、円 O を構成するような 4 つのサブポリゴンとしての四角形ポリゴン a e i g, e b h i, h d f i, f c g i に分割される。

- 以上説明した細分割処理によれば、ポリゴンが、滑らかな 3 次元形状を与えるような詳細な (細かな) ポリゴンに分割されるので、データ提供装置 1 では、実現しようとする 3 次元形状についての詳細なデータを与えなくても、その形状についての大まかなデータを与えるだけで、微細な 3 次元形状を構成し、ユーザに提供することができる。また、ユー

ザ端末 4 側においては、少ないデータから、微細な 3 次元形状を再現することができる。

次に、第 2 図のデータ提供装置 1 の処理について説明する。

データ提供装置 1 では、制作者によって、入力部 11 が、3 次元形状
5 を構成するように操作されると、細分割処理に用いる分割用ポリゴンデータを生成する分割用ポリゴンデータ生成処理が行われる。

そこで、第 20 図のフローチャートを参照して、分割用ポリゴンデータ生成処理について説明する。

分割用ポリゴンデータ生成処理では、まず最初に、ステップ S 11 に
10 おいて、3 次元形状を構成するポリゴンの頂点の座標（3 次元空間における座標）およびその頂点における枠線の法線ベクトル（後述するように、これが、枠線補間用法線ベクトルとされる）の入力が、入力部 11 からあったかどうか、データ処理部 12 によって判定される。

ステップ S 11 において、頂点の座標およびその頂点における枠線の
15 法線ベクトルの入力がなかったと判定された場合、ステップ S 12 をスキップして、ステップ S 13 に進む。

また、ステップ S 11 において、頂点の座標およびその頂点における
枠線の法線ベクトルの入力があったと判定された場合、即ち、制作者が、
入力部 11 を操作することにより、頂点の座標およびその頂点における
20 枠線の法線ベクトルを入力した場合、ステップ S 12 に進み、入力のあった頂点の座標およびその頂点における枠線の法線ベクトルが、メモリ 12 A に一時記憶され、ステップ S 13 に進む。

ステップ S 13 では、入力部 11 が、メモリ 12 A の記憶内容を、分割用ポリゴンデータとして確定するように操作（以下、適宜、確定操作
25 という）されたかどうか、データ処理部 12 によって判定される。ステップ S 13 において、入力部 11 が確定操作されていないと判定され

た場合、ステップS 1 1に戻り、以下、同様の処理を繰り返す。

また、ステップS 1 3において、入力部1 1が確定操作されたと判定された場合、ステップS 1 4に進み、データ処理部1 2は、メモリ1 2 Aの記憶内容を読み出して、分割用データベース1 3に供給して記憶させる。さらに、データ処理部1 2は、例えば、入力された順に頂点を通り、かつ各頂点における枠線の法線ベクトルとなす角度が9 0度の、3次のベジェ曲線を、メモリ1 2 Aの記憶内容に基づいて求め、分割用データベース1 3、分割処理部1 4、およびレンダリング部1 5を介して、表示部1 6に供給して表示させる。

10 これにより、表示部1 6においては、例えば、第2 1図に示すような、3次元形状を構成する枠線としてのベジェ曲線（図中、点線で示す）が表示される。

その後、ステップS 1 5に進み、頂点の座標およびその頂点における枠線の法線ベクトルの入力を、追加して行うように、入力部1 1が操作（以下、適宜、追加操作という）されたかどうか、データ処理部1 2によって判定される。ステップS 1 5において、入力部1 1が追加操作されたと判定された場合、メモリ1 2 Aの記憶内容がクリアされ、ステップS 1 1に戻り、以下、ステップS 1 1乃至S 1 5の処理が繰り返されることにより、3次元形状を構成する枠線としてのベジェ曲線が、順次描かれていく。

20 即ち、例えば、制作者が、第2 2図（A）に示すように、頂点 P_1 の座標およびその頂点 P_1 における枠線の法線ベクトル（枠線補間用法線ベクトル） A_1 、並びに頂点 P_2 の座標およびその頂点 P_2 における枠線の法線ベクトル A_2 を入力し、入力部1 1を確定操作すると、データ処理部1 2は、3次元形状を構成する枠線としてのベジェ曲線 $P_1 P_2$ を求め、表示部1 6に表示させる。さらに、制作者が、入力部1 1を追加操

作し、例えば、第 2 2 図 (A) に示すように、頂点 P_3 の座標およびその頂点 P_3 における枠線の法線ベクトル A_3 、並びに頂点 P_4 の座標およびその頂点 P_4 における枠線の法線ベクトル A_4 を入力して、入力部 1 1 を確定操作すると、データ処理部 1 2 は、3 次元形状を構成する枠線としてのベジェ曲線 $P_3 P_4$ を求め、表示部 1 6 に表示させる。

その後、制作者が、入力部 1 1 を追加操作し、例えば、第 2 2 図 (B) に示すように、頂点 P_1 の座標およびその頂点 P_1 における枠線の法線ベクトル (枠線補間用法線ベクトル) B_1 、並びに頂点 P_3 の座標およびその頂点 P_3 における枠線の法線ベクトル B_3 を入力し、入力部 1 1 を確定操作すると、データ処理部 1 2 は、3 次元形状を構成する枠線としてのベジェ曲線 $P_1 P_3$ を求め、表示部 1 6 に表示させる。さらに、制作者が、入力部 1 1 を追加操作し、例えば、第 2 2 図 (B) に示すように、頂点 P_2 の座標およびその頂点 P_3 における枠線の法線ベクトル B_2 、並びに頂点 P_4 の座標およびその頂点 P_4 における枠線の法線ベクトル B_4 を入力して、入力部 1 1 を確定操作すると、データ処理部 1 2 は、3 次元形状を構成する枠線としてのベジェ曲線 $P_4 P_2$ を求め、表示部 1 6 に表示させる。

ここで、第 2 2 図において、例えば、頂点 P_1 の枠線の法線ベクトルとしては、ベクトル A_1 と B_1 の 2 つが存在することとなるが、ベクトル A_1 または B_1 は、曲線 $P_1 P_2$ または $P_1 P_3$ に対して、それぞれ垂直になっている。同様に、ベクトル A_2 または B_2 は、曲線 $P_1 P_2$ または $P_2 P_4$ に対して、ベクトル A_3 または B_3 は、曲線 $P_1 P_3$ または $P_3 P_4$ に対して、ベクトル A_4 または B_4 は、曲線 $P_3 P_4$ または $P_3 P_4$ に対して、それぞれ垂直になっている。

なお、データ処理部 1 2 は、ある 2 つの頂点 P_1 と P_2 、およびその頂点 P_1 または P_2 における枠線の法線ベクトル A_1 または A_2 が

与えられると、その2つの頂点 P_1 および P_2 を通り、かつ法線ベクトル A_1 または A_2 それぞれとなす角度が90度の、3次元形状を構成する枠線としての3次のベジェ曲線 P_1P_2 を、例えば、次のようにして求めるようになされている。

- 5 即ち、データ処理部12は、第23図に示すように、頂点 P_1 を含み、法線ベクトル A_1 に垂直な平面 R に対して、線分 P_1P_2 を投影（正射影）した線分 $P_1'P_2'$ を求める。同様にして、データ処理部12は、頂点 P_2 を含み、法線ベクトル A_2 に垂直な平面に対して、線分 P_1P_2 を投影した線分 $P_1''P_2''$ （図示せず）を求める。そして、データ処理部1
- 10 2では、頂点 P_1 および P_2 の座標、並びに線分 P_1P_2 と線分 $P_1'P_2'$ とがなす角度、および線分 P_1P_2 と線分 $P_1''P_2''$ とがなす角度から、第9図で説明したようにして、制御点 Q_1 および Q_2 が求められ、その制御点 Q_1 および Q_2 、さらには、制御点 P_1 および P_2 で特定される3次のベジェ曲線が、3次元形状を構成する枠線として求められる。
- 15 ここで、このようにして求められる枠線としてのベジェ曲線は、頂点 P_1 における枠線の法線ベクトルと、頂点 P_2 における枠線の法線ベクトルを、補間用ベクトルとして、細分割処理を行った場合に得られる補間線に一致する。

- 第20図に戻り、ステップS15において、入力部11が追加操作で
- 20 はなく、頂点の座標およびその頂点における枠線の法線ベクトルの入力を終了するように操作されたと判定された場合、ステップS16に進み、データ処理部12は、いままでに求められた枠線によって形成される曲面（3次元形状を構成する曲面）が求められる。即ち、例えば、第22図で説明したようにして、枠線 P_1P_2 、 P_3P_4 、 P_1P_3 、 P_2P_4 が求
- 25 められている場合においては、ステップS16において、第24図に示すような、枠線 P_1P_2 、 P_3P_4 、 P_1P_3 、 P_2P_4 で囲まれる曲面 S が

求められる。

- そして、ステップ S 1 7 に進み、データ処理部 1 2 は、分割用データベース 1 3 に記憶されている各頂点について、枠線補間用法線ベクトルと曲面補間用法線ベクトルを算出する。即ち、データ処理部 1 2 は、分割用データベース 1 3 に記憶されている各頂点における枠線の法線ベクトルを、そのまま、それぞれの頂点における枠線補間用法線ベクトルとする。従って、ある頂点における枠線補間用法線ベクトルは（頂点における枠線の法線ベクトルも）、第 2 3 図で説明したことから、その頂点を含む所定の平面に、その頂点と他の頂点とを結ぶ線分を投影した線が、
- 10 枠線としてのベジェ曲線（第 2 3 図で説明したようにして求められるベジェ曲線）と接する場合の、所定の平面の法線方向のベクトルとなる。

- さらに、データ処理部 1 2 は、ステップ S 1 7 において、分割用データベース 1 3 に記憶されている各頂点における、ステップ S 1 6 で求めた曲面の法線ベクトルを求め、それぞれの頂点における曲面補間用法線ベクトルとし、分割用データベース 1 3 に供給して記憶させる。なお、
- 15 曲面補間用法線ベクトルは、ポリゴンのシェーディングを行う場合に用いられる法線ベクトルに一致する。

- ここで、細分割処理において、枠線補間用法線ベクトルまたは曲面補間用法線ベクトルのうちの、曲面補間用法線ベクトルのみを用いて、頂点間の補間線を求めた場合には、例えば、第 2 5 図（A）に示すように、補間線が、ステップ S 1 4 で求められた曲線（枠線）には一致せず、折れ曲がることがある。これに対して、枠線補間用法線ベクトルを用いて、頂点間の補間線を求めた場合には、例えば、第 2 5 図（B）に示すような、ステップ S 1 4 で求められた曲線（枠線）に一致する滑らかな補間
- 25 線が得られる。

データ処理部 1 2 は、ステップ S 1 7 において、枠線補間用法線ベク

トルおよび曲面補間用法線ベクトルを求めると、ステップ S 1 8 に進み、ベクトル統合処理を行う。

- 即ち、1 の頂点と、それに隣接する他の頂点とを結ぶ線分を、曲面補間用法線ベクトルに垂直な平面であって、1 の頂点を通る平面に正射影したものの方向と、1 の頂点を通る、実現しようとする 3 次元形状に沿った曲線（枠線）の、その 1 の頂点における接線方向（枠線方向）とのずれが大きいと、上述したように、補間線が折れ曲がるが、このずれ量は、枠線補間用法線ベクトルと曲面補間用法線ベクトルとの差分に反映される。
- 10 一方、上述のずれ量は、0（ほとんど 0 の場合も含む）になることが多く（ずれ量が大きくなるのは、例えば、上述したように、回転軸を中心に平面形状を回転することで構成される円柱などの回転体や、それに近い 3 次元形状を実現しようとする場合である）、この場合、枠線補間用法線ベクトルと曲面補間用法線ベクトルとは一致（ほぼ一致）する。このように一致するベクトルを、枠線補間用法線ベクトルと曲面補間用法線ベクトルとに分けて、別々に、分割用ポリゴンデータとするのは冗長である。
- 20 そこで、分割用ポリゴンデータのデータ量を低減するために、ステップ S 1 8 では、同一の頂点における枠線補間用法線ベクトルと、曲面補間用法線ベクトルとを比較し、それらが一致（ほぼ一致）する場合には、その枠線補間用法線ベクトルと、曲面補間用法線ベクトルとを、1 のベクトルに統合するベクトル統合処理が行われる。ここで、枠線補間用法線ベクトルと、曲面補間用法線ベクトルとが完全に一致する場合、ステップ S 1 8 では、例えば、そのうちのいずれか 1 のベクトルが選択され、それがベクトル統合処理結果とされる。また、枠線補間用法線ベクトルと、曲面補間用法線ベクトルとがほぼ一致する場合、ステップ S 1 8 で
- 25

は、例えば、それらの平均値が求められ、それがベクトル統合結果とされる。ベクトル統合処理結果は、分割用データベース 13 に記憶されている、そのベクトル統合処理の対象となった枠線補間用法線ベクトルおよび曲面補間用法線ベクトルに替えて書き込まれる。なお、同一の頂点
5 における枠線補間用法線ベクトルと、曲面補間用法線ベクトルとが一致しない場合には、それらは、分割用データベース 13 に記憶された状態のままとされる。

データ処理部 12 は、ステップ S 18 において、分割用データベース 13 に記憶されたすべての頂点に対して、ベクトル統合処理を施すと、
10 ステップ S 19 に進み、分割用データベース 13 の記憶内容に基づいて、分割用ポリゴンデータを構成し、分割用ポリゴンデータ生成処理を終了する。

ここで、第 26 図は、ステップ S 19 で構成される分割用ポリゴンデータのフォーマットを示している。

15 分割用ポリゴンデータは、例えば、第 26 図 (A) に示すように、1 個の参照用データ #1 乃至 #I に続いて、I 個のポリゴンデータ #1 乃至 #I が順次配置されて構成されている。

ここで、ポリゴンデータ #i ($i = 1, 2, \dots, I$) は、例えば、第 20 図の分割用ポリゴンデータ生成処理において、第 24 図に示した
20 ような曲面 S が作成されるごとに、その曲面 S を構成する四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ について生成される。従って、第 26 図 (A) は、3 次元形状が、I 個のポリゴンから構成される場合の分割用ポリゴンデータを示している。

ポリゴンデータ #i は、第 26 図 (B) に示すように、そのポリゴン
25 #i を構成する頂点の座標 $(p x_1, p y_1, p z_1), (p x_2, p y_2, p z_2), (p x_3, p y_3, p z_3), \dots$ 、各頂点における枠線補間用法

線ベクトルまたは曲面補間用法線ベクトルとなる法線ベクトル $(n x_1, n y_1, n z_1), (n x_2, n y_2, n z_2), (n x_3, n y_3, n z_3)$ 、その他のデータから構成されている。ポリゴンデータ # i に配置された頂点の座標、および法線ベクトルには、それらを特定するためのインデックスが付されている。なお、第 26 図 (B) の実施の形態では、インデックスとして、シーケンシャルな数字が、頂点の座標および法線ベクトルに、実際に付されているが、インデックスは、頂点の座標、法線ベクトルに対して、それが配置されている順番に、シーケンシャルな数字を割り当てることとして、ポリゴンデータ # i の中に書き込まないようにすることも可能である。

参照用データ # i は、ポリゴンデータ # i を参照するときに用いられるデータで、例えば、第 26 図 (C) に示すように、そのポリゴン # i を構成する頂点の数としての頂点数と、各頂点についての参照用データとから構成されている。従って、ポリゴン # i の頂点が J 個ある場合には、頂点についての参照用データは、 J 個配置される。頂点 # j ($j = 1, 2, \dots, J$) についての参照用データは、例えば、第 26 図 (D) に示すように、頂点 # j の座標のインデックス、その頂点における枠線補間用法線ベクトル A, B のインデックス、その頂点における曲面補間用法線ベクトルのインデックスが、順次配置されて構成されている。

頂点 # j の座標のインデックスとして、例えば、1 が配置されている場合、参照用データ # i に対応するポリゴンデータ # i においてもインデックス「1」が割り当てられている座標 $(p x_1, p y_1, p z_1)$ が、頂点 # j の座標ということになる。

また、例えば、枠線補間用法線ベクトル A のインデックスとして、例えば、1 が配置されている場合、参照用データ # i に対応するポリゴンデータ # i において、インデックス「1」が割り当てられている法線ベク

トル (nx_1, ny_1, nz_1) が、頂点 # j における枠線補間用法線ベクトル A ということになる。

さらに、例えば、枠線補間用法線ベクトル B のインデックスとして、例えば、2 が配置されている場合、参照用データ # i に対応するポリゴンデータ # i において、インデックス「2」が割り当てられている法線ベクトル (nx_2, ny_2, nz_2) が、頂点 # j における枠線補間用法線ベクトル B ということになる。

また、例えば、曲面補間用法線ベクトルのインデックスとして、例えば、3 が配置されている場合、参照用データ # i に対応するポリゴンデータ # i において、インデックス「3」が割り当てられている法線ベクトル (nx_3, ny_3, nz_3) が、頂点 # j における曲面補間用法線ベクトルということになる。

ここで、1 の頂点 # j における枠線補間用法線ベクトルが、ベクトル A と B との 2 つあるのは、次のような理由による。即ち、上述したような分割用ポリゴンデータ生成処理において生成される、例えば、第 24 図に示した曲面 S を構成する四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ の各頂点 P_1 乃至 P_4 においては、いずれも、方向の異なる 2 つ曲線（枠線）が交差するが、この 2 つの曲線についての法線ベクトルが、曲面補間用法線ベクトルとして与えられるためである。

また、上述の場合においては、枠線補間用法線ベクトル A, B、曲面補間用法線ベクトルそれぞれに対して、異なるインデックスを与えるようにしたが、第 20 図のステップ S 18 において、例えば、枠線補間用法線ベクトル A, B、曲面補間用法線ベクトルが一致し、1 のベクトルに統合された場合においては、枠線補間用法線ベクトル A, B、曲面補間用法線ベクトルのいずれに対しても、その統合された 1 のベクトルに割り当てられているインデックスが与えられる。即ち、例えば、枠線補

- 間用法線ベクトル A , B 、曲面補間用法線ベクトルが、いずれも $(n x_1, n y_1, n z_1)$ で表される場合には、枠線補間用法線ベクトル A , B 、曲面補間用法線ベクトルのインデックスは、いずれも、法線ベクトル $(n x_1, n y_1, n z_1)$ に割り当てられているインデックスである
- 5 1 とされる（この場合、法線ベクトル $(n x_1, n y_1, n z_1)$ は、枠線補間用法線ベクトル A , B 、曲面補間用法線ベクトルについてのベクトル統合処理結果（第 20 図のステップ S 18）である）。また、この場合、ポリゴンデータ # i に、法線ベクトルとして配置されるのは、ベクトル $(n x_1, n y_1, n z_1)$ だけになる。
- 10 なお、第 20 図の分割用ポリゴンデータ生成処理では、制作者に、頂点の座標およびその頂点における枠線の法線ベクトルを入力してもらい、それらから、枠線となる曲線を求め、その曲線どうしを交差させることで、3次元形状を定義していくようにしたが、3次元形状は、例えば、次のようにして構成することも可能である。
- 15 即ち、まず、実現しようとする 3次元形状について、実際に測定を行い、3次元空間における各頂点の座標と、各頂点における 3次元形状の法線ベクトル、即ち、曲面補間用法線ベクトルとを求め、これを、制作者によって、データ処理部 12 に入力してもらう。データ処理部 12 には、頂点における曲線補間用法線ベクトルを、その頂点において交差する 2つの枠線それぞれについての枠線補間用法線ベクトル A , B とみなして、枠線となる曲線を求めさせて表示させる。そして、その表示された枠線のうち、折れ曲がっている（歪んでいる）ものについては、曲線補間用法線ベクトルと等しくなっている枠線補間用法線ベクトル A , B を、枠線が滑らかになるように、制作者によって補正してもらう。この
- 20 場合、第 20 図のステップ S 17 および S 18 の処理は行わずに済むようになる。
- 25

次に、データ提供装置 1 では、分割用ポリゴンデータ生成処理（第 20 図）が行われ、第 26 図に示したような分割用ポリゴンデータが、分割用データベース 13 に記憶されると、分割処理部 14 において、分割用データベース 13 から分割用ポリゴンデータが読み出され、細分割処理が行われる。

そこで、第 27 図のフローチャートを参照して、分割処理部 14 において行われる、ポリゴンに対する細分割処理について説明する。

なお、ここでは、例えば、第 28 図に示すような四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ の横方向または縦方向を、それぞれ M または N 分割し、これにより、 $M \times N$ 個の四角形のサブポリゴンを構成するものとする（ここでは、第 28 図の四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ の、例えば、線分 $P_1 P_2$ （または $P_3 P_4$ ）の方向を横方向と、線分 $P_1 P_3$ （または $P_2 P_4$ ）の方向を縦方向とする）。

また、四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ の頂点 P_i （ $i = 1, 2, 3, 4$ ）における曲面用法線ベクトルを n_i と表すとともに、その頂点 P_i における横方向の枠線についての枠線補間用法線ベクトルを A_i と表し、縦方向の枠線についての枠線補間用法線ベクトルを B_i と表す。

この場合、細分割処理では、まず最初に、ステップ S 21 において、枠線 $P_1 P_2$ の分割処理が行われる。即ち、ステップ S 21 では、頂点 P_1 と P_2 との間に、 $M - 1$ 個の補間点 P_{12} が設定され、さらに、その $M - 1$ 個の補間点 P_{12} それぞれにおける曲面補間用法線ベクトル n_{12} が求められる。

そして、ステップ S 22 に進み、枠線 $P_3 P_4$ の分割処理が行われる。即ち、ステップ S 22 では、頂点 P_3 と P_4 との間に、 $M - 1$ 個の補間点 P_{34} が設定され、さらに、その $M - 1$ 個の補間点 P_{34} それぞれにおける曲面補間用法線ベクトル n_{34} が求められる。

その後、ステップ S 2 3, S 2 4 に順次進み、枠線 $P_1 P_3$ の分割処理、
 枠線 $P_2 P_4$ の分割処理が行われる。即ち、ステップ S 2 3 では、頂点 P_1
 と頂点 P_3 との間に、 $N - 1$ 個の補間点 P_{13} が設定され、さらに、その
 $N - 1$ 個の補間点 P_{13} それぞれにおける曲面補間用法線ベクトル n_{13}
 5 が求められる。また、ステップ S 2 4 では、頂点 P_2 と頂点 P_4 との間に、
 $N - 1$ 個の補間点 P_{24} が設定され、さらに、その $N - 1$ 個の補間点 P_{24}
 それぞれにおける曲面補間用法線ベクトル n_{24} が求められる。

そして、ステップ S 2 5 に進み、四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ のポリ
 ギン内部の分割処理が行われる。即ち、ステップ S 2 5 では、 $M - 1$ 個
 10 の補間点 P_{12} と、 $M - 1$ 個の補間点 P_{34} との対応するものどうしそれぞ
 れの間に、 $N - 1$ 個の補間点、つまり、全部で、 $(M - 1) \times (N - 1)$
 個の補間点 P_{1234} が設定され、その $(M - 1) \times (N - 1)$ 個の補間点
 P_{1234} それぞれにおける曲面補間用法線ベクトル n_{1234} が求められる。

その後、ステップ S 2 6 に進み、ステップ S 2 1 乃至 S 2 5 で求めら
 15 れた補間点 P_{12} , P_{34} , P_{13} , P_{24} , P_{1234} に基づいて、四角形ポリ
 ギン $P_1 P_2 P_4 P_3$ が、 $M \times N$ 個の四角形のサブポリゴンに分割され、細
 分割処理を終了する。

例えば、いま、第 2 8 図に示す四角形ポリゴン $P_1 P_2 P_4 P_3$ を、 $2 \times$
 2 個の四角形のサブポリゴンに分割するものとする（従って、 $M = N$
 20 $= 1$ ）、第 2 7 図のステップ S 2 1 では、枠線 $P_1 P_2$ に一致する補間線
 が、頂点 P_1 および P_2 の座標、並びに枠線補間用法線ベクトル A_1 およ
 び A_2 を用いて、第 9 図の制御点算出処理を行うことで求められる。さ
 らに、ステップ S 2 1 では、その補間線 $P_1 P_2$ を表すベジェ曲線の式
 (1) に、パラメータ t として、例えば、0.5 を代入することで、第
 25 2 9 図に示すように、補間線 $P_1 P_2$ 上の 1 点である補間点 P_{12} が求めら
 れる。また、ステップ S 2 1 では、頂点 P_1 または P_2 それぞれにおける

曲面補間用法線ベクトル n_1 または n_2 から、第 16 図で説明したようにして、補間点 P_{12} における曲面補間用法線ベクトル n_{12} も求められる。

ステップ S 2 2 においても、頂点 P_3 および P_4 を対象に、ステップ S 2 1 における場合と同様の処理が行われ、これにより、第 29 図に示すように、補間線 P_3P_4 上の 1 点である補間点 P_{34} が求められるとともに、その補間点 P_{34} における曲面補間用法線ベクトル n_{34} が求められる。

さらに、ステップ S 2 3 では、枠線 P_1P_3 に一致する補間線が、頂点 P_1 および P_3 の座標、並びに枠線補間用法線ベクトル B_1 および B_3 を用いて、第 9 図の制御点算出処理を行うことで求められる。さらに、ステップ S 2 3 では、その補間線 P_1P_3 を表すベジェ曲線の式 (1) に、パラメータ t として、例えば、0.5 を代入することで、第 30 図に示すように、補間線 P_1P_3 の 1 点である補間点 P_{13} が求められる。また、ステップ S 2 3 では、頂点 P_1 または P_3 それぞれにおける曲面補間用法線ベクトル n_1 または n_3 から、第 16 図で説明したようにして、補間点 P_{13} における曲面補間用法線ベクトル n_{13} も求められる。

ステップ S 2 4 においても、頂点 P_2 および P_4 を対象に、ステップ S 2 3 における場合と同様の処理が行われ、これにより、第 30 図に示すように、補間線 P_2P_4 上の 1 点である補間点 P_{24} が求められるとともに、その補間点 P_{24} における曲面補間用法線ベクトル n_{24} が求められる。

そして、ステップ S 2 5 では、補間線 P_1P_2 上の補間点と、補間線 P_3P_4 上の補間点との対応する補間どうしの間を補間する補間線が求められ、その補間線上に、補間線 P_1P_3 (または補間線 P_2P_4) 上に設定された補間点と同一の数の補間点が設定される。即ち、いまの場合、第 31 図に示すように、補間点 P_{12} と P_{34} との間を補間する補間線 $P_{12}P_{34}$ が、補間点 P_{12} および P_{34} の座標、並びに曲面補間用法線ベクトル n_{12} , n_{34} を用いて、第 9 図の制御点算出処理を行うことで求められ

る。さらに、その補間線 $P_{12}P_{34}$ を表すベジェ曲線の式 (1) に、パラメータ t として、例えば、0.5 を代入することで、第 31 図に示すように、補間線 $P_{12}P_{34}$ 上の 1 点である補間点 P_{1234} が求められる。また、補間点 P_{12} または P_{34} それぞれにおける曲面補間用法線ベクトル n_{12} または n_{34} から、第 16 図で説明したようにして、補間点 P_{1234} における曲面補間用法線ベクトル n_{1234} が求められる。

そして、ステップ S 26 では、ステップ S 21 乃至 S 25 で求められた補間点 P_{12} , P_{34} , P_{13} , P_{24} , P_{1234} に基づいて、四角形ポリゴン $P_1P_2P_4P_3$ が、 2×2 個の四角形のサブポリゴンに分割される。即ち、第 28 図に示した四角形ポリゴン $P_1P_2P_4P_3$ は、第 32 図に示すように、4 つの四角形のサブポリゴン $P_1P_{12}P_{1234}P_{13}$, $P_{12}P_2P_{24}P_{1234}$, $P_{1234}P_{24}P_4P_{34}$, $P_{13}P_{1234}P_{34}P_3$ に分割され、これにより、四角形ポリゴン $P_1P_2P_4P_3$ だけの場合に比較して滑らかな 3 次元形状が実現される。

なお、上述の場合においては、ステップ S 25 において、補間線 P_1P_2 上の補間点と、補間線 P_3P_4 上の補間点との対応する補間どうしの間を補間する補間線を求め、その補間線上に、補間線 P_1P_3 (または補間線 P_2P_4) 上に設定された補間点と同一の数の補間点を設定するようにしたが、その他、例えば、補間線 P_1P_3 上の補間点と、補間線 P_2P_4 上の補間点との対応する補間どうしの間を補間する補間線を求め、その補間線上に、補間線 P_1P_2 (または補間線 P_3P_4) 上に設定された補間点と同一の数の補間点を設定するようにしても良い。

即ち、例えば、第 28 図に示した四角形ポリゴン $P_1P_2P_4P_3$ を、 2×2 個の四角形のサブポリゴンに分割する場合には、ステップ S 25 において、第 33 図に示すように、補間点 P_{13} と P_{24} との間を補間する補間線 $P_{13}P_{24}$ を、補間点 P_{13} および P_{24} の座標、並びに曲面補間用法

線ベクトル n_{13} , n_{24} を用いて、第 9 図の制御点算出処理を行うことで求めるようにする。さらに、ステップ S 25 において、補間線 $P_{13}P_{24}$ を表すベジェ曲線の式 (1) に、パラメータ t として、例えば、0.5 を代入することで、補間線 $P_{12}P_{34}$ 上の 1 点である補間点 P_{1324} を求め、補間点 P_{13} または P_{24} それぞれにおける曲面補間用法線ベクトル n_{13} または n_{24} から、第 16 図で説明したようにして、補間点 P_{1324} における曲面補間用法線ベクトル n_{1324} を求めるようにする。

この場合、第 28 図の四角形ポリゴン $P_1P_2P_4P_3$ は、4 つの四角形のサブポリゴン $P_1P_{12}P_{1324}P_{13}$, $P_{12}P_2P_{24}P_{1324}$, $P_{1324}P_{24}P_4P_{34}$, $P_{13}P_{1324}P_{34}P_3$ に分割されることになる。

ここで、ステップ S 25 では、補間点 P_{1234} (第 31 図) と P_{1324} (第 33 図) の両方を求め、その座標の平均値などで表される点を、最終的な補間点とすることも可能である。この場合、その最終的な補間点における曲面補間用法線ベクトルは、例えば、曲面補間用法線ベクトル n_{1234} と n_{1324} との平均値などとされる。

以上のような細分割処理により得られるサブポリゴンは、分割処理部 14 からレンダリング部 15 に供給され、レンダリング処理が施されることにより描画される。即ち、レンダリング部 15 は、例えば、サブポリゴンについて、シェーディングなどを行い、さらに、画面座標系への変換を行う。なお、サブポリゴンのシェーディングは、各頂点における曲面補間用法線ベクトルを用いて行われる。そして、レンダリング部 15 は、テクスチャデータベース 17 に記憶されているテクスチャのデータを用いてテクスチャマッピングのためのテクスチャアドレスの計算を行うなどして、表示部 16 を構成する各画素の最終的な RGB 値を求め、表示部 16 に出力する。これにより、表示部 16 では、サブポリゴンで構成される 3 次元画像が表示される。

そして、制作者は、表示部 1 6 に表示された 3 次元画像に問題がなければ、入力部 1 1 を、分割用データベース 1 3 の記憶内容を、送信／記録装置 1 8 に供給するように操作する。これに対応して、分割用データベース 1 3 に記憶された分割用ポリゴンデータは、送信／記録装置 1 8
5 に供給される。送信／記録装置 1 8 は、分割用ポリゴンデータを受信すると、テクスチャデータベース 1 7 からテクスチャのデータを読み出し、分割用ポリゴンデータと多重化して、伝送媒体 2 を介して伝送し、あるいは記録媒体 3 に記録する。

なお、表示部 1 6 に表示された 3 次元画像に問題がある場合には、制作者は、入力部 1 1 を操作して、分割用ポリゴンデータを修正する。
10

次に、第 3 4 図のフローチャートを参照して、第 2 7 図のステップ S 2 1 乃至 S 2 4 における枠線の分割処理について、さらに説明する。なお、ここでは、ポリゴンを構成する 1 の頂点を P_1 とするとともに、その頂点 P_1 に隣接する他の頂点を P_2 とする。また、頂点 P_1 と P_2 との間
15 の枠線 $P_1 P_2$ についての頂点 P_1 または P_2 における枠線補間用法線ベクトルを A_1 または A_2 とそれぞれするとともに、頂点 P_1 または P_2 における曲面補間用法線ベクトルを、それぞれ n_1 または n_2 とする。

枠線の分割処理では、まず最初に、ステップ S 3 1 において、直線（線分） $P_1 P_2$ が求められ、ステップ S 3 2 に進み、直線 $P_1 P_2$ を、頂点 P_1 または P_2 を含む、枠線補間用法線ベクトル A_1 または A_2 に垂直な平面
20 それぞれに正射影し、それぞれの平面に射影された直線方向の単位ベクトルが求められ、それぞれが、頂点 P_1 または P_2 における接線ベクトルとされる。

そして、ステップ S 3 3 に進み、頂点 P_1 または P_2 における接線ベクトルそれぞれと、直線 $P_1 P_2$ とのなす角度 θ_1 または θ_2 が求められる。
25 その後は、ステップ S 3 4, S 3 5 に順次進み、第 9 図における場合と

同様にして、枠線 $P_1 P_2$ に一致する補間線としての 3 次のベジェ曲線が求められる。

- 即ち、ステップ S 3 4 では、角度 θ_1 および θ_2 、並びに頂点 P_1 および P_2 の座標に基づき、制御点 P_1 または P_2 から、他の制御点 Q_1 または Q_2 までの距離である制御辺長 L_1 または L_2 が、それぞれ求められる。
- また、ステップ S 3 5 では、制御辺長 L_1 または L_2 から、制御点 Q_1 または Q_2 がそれぞれ求められ、これにより、枠線 $P_1 P_2$ に一致する補間線としての 3 次のベジェ曲線が特定される。

- そして、ステップ S 3 6、S 3 7 に順次進み、ベジェ曲線である補間線 $P_1 P_2$ 上に補間点 P_{12} が設定され、その補間点 P_{12} における曲面補間用法線ベクトル n_{12} が求められ、枠線の分割処理を終了する。

- 即ち、ステップ S 3 6 では、ベジェ曲線である補間線 $P_1 P_2$ を表す式 (1) の中のパラメータ t に、所定の値が代入されることで、補間点 P_{12} が求められる。さらに、ステップ S 3 6 では、第 16 図で説明したようにして、補間線 $P_1 P_2$ の、補間点 P_{12} における接線ベクトル s_{12} が求められるとともに、曲面補間用法線ベクトル n_1 および n_2 を用いて線形補間を行うことで、第 16 図で説明したベクトル nn_{12} が求められる。
- そして、ステップ S 3 7 において、ベクトル nn_{12} が、第 16 図で説明したように、接線ベクトル s_{12} によって補正され、その補正結果が、補間点 P_{12} における最終的な曲面補間用法線ベクトル n_{12} として求められる。

- 次に、第 35 図のフローチャートを参照して、第 27 図のステップ S 25 におけるポリゴン内部の分割処理について、さらに説明する。なお、ここでは、枠線の分割処理によって得られた枠線上の 1 の補間点を P_1 とするとともに、その枠線に対向する枠線上の、補間点 P_1 に対応する補間点を P_2 とする。また、補間点 P_1 または P_2 を求めるための枠線の

分割処理において、補間点 P_1 および P_2 とともに求められた、それぞれにおける曲面補間用法線ベクトルを、 n_1 または n_2 とする。

- ポリゴン内部の分割処理では、ステップ S 4 2 において、稜線補間用法線ベクトルではなく、曲面補間用法線ベクトル n_1 または n_2 を用いて、
- 5 補間点 P_1 または P_2 それぞれにおける接線ベクトルが求められることを除けば、ステップ S 4 1 乃至 S 4 7 において、第 3 4 図のステップ S 3 1 乃至 S 3 7 における場合とそれぞれ同様の処理が行われ、補間点 P_1 と P_2 との間を補間する補間線としてのベジェ曲線上の点である補間点と、その補間点における曲面補間用法線ベクトル $n_{1,2}$ が求められる。
- 10 以上のように、頂点が、稜線補間用法線ベクトルおよび曲面補間用法線ベクトルの両方を有する場合には、細分割処理を施す元のポリゴンの頂点どうしの間を補間する補間点は、稜線補間用法線ベクトルを用いて求められ、補間点どうしの間を補間する補間点は、曲面補間用法線ベクトルを用いて求められる。但し、上述したような補間線（稜線）の折れ
- 15 曲がり問題とならない場合には、頂点が、稜線補間用法線ベクトルおよび曲面補間用法線ベクトルの両方を有していても、曲面補間用法線ベクトルのみを用いて、補間点を求めるようにしても良い。

- 以上のような細分割処理によれば、大まかなポリゴンについての分割用ポリゴンデータから、滑らかな 3 次元形状を構成するサブポリゴンを
- 20 生成することができる。

- 即ち、例えば、第 3 6 図に示す立方体は、その 6 面を構成する 6 つの四角形（正方形）のポリゴンから構成されるが、この 6 つの四角形ポリゴンに対して細分割処理を施さずに、そのまま描画を行った場合には、例えば、第 3 7 図に示すような立方体を得られる。これに対して、6 つ
- 25 の四角形ポリゴンの各頂点に、第 3 6 図に示すような、立方体の重心から放射状に延びるベクトルを、補間用ベクトル（曲面補間用法線ベクトル

ル)として与えておき、細分割処理を施した場合には、例えば、第38図に示すような球が得られる。なお、第38図では(後述する第40図乃至第42図についても同様)、1の四角形ポリゴンを、 5×5 のサブポリゴンに分割している。

- 5 さらに、6つの四角形ポリゴンの各頂点に与える補間用ベクトルを、第36図に示したもののから、例えば、第39図の側面図に示すように傾けたものにより、6つの四角形ポリゴンは、細分割処理を施すことによって、同図に点線で示すような歪んだ球を構成するサブポリゴンに分割される。即ち、立方体を構成する6つの四角形ポリゴンに与える補間用ベクトルを変えるだけで、第40図や第41図に示すような、
10 いわば卵形の3次元形状を得ることができる。

ここで、第38図、第40図、および第41図に示した3次元形状は、曲面補間用法線ベクトルだけを補間用ベクトルとして用いることで実現することができる。

- 15 また、第36図に示す立方体を構成する6つの四角形ポリゴンのうち、円柱の側面を構成するものの頂点には、その四角形ポリゴンの法線ベクトルを、稜線補間用法線ベクトルおよび曲面補間用法線ベクトルとして与えておき、円柱の底面である円を構成する四角形ポリゴンの頂点には、その円の中心から放射状に延びる方向のベクトルを稜線補間用法線ベクトルとして与えるとともに、その円(の面)の法線方向のベクトルを曲面補間用法線ベクトルとして与えておくことで、細分割処理によって、
20 例えば、第42図に示すような円柱を実現することができる。

- 以上のように、細分割処理によれば、大まかなポリゴンについての分割用ポリゴンデータから、滑らかな3次元形状を構成するサブポリゴン
25 を生成することができるので、制作者は、3次元形状について、詳細なパラメータを設定しなくても、複雑な3次元形状を構成することが可能

となる。

次に、第43図のフローチャートを参照して、第3図のユーザ端末4の処理について説明する。

ユーザ端末4では、受信／再生装置21において、伝送媒体2を介して伝送されてくるデータが受信され、または記録媒体3に記録されたデータが再生され、そのうちの分割用ポリゴンデータは分割用データベース22に供給されて記憶され、テクスチャのデータはテクスチャデータベース27に供給されて記憶される。

分割用データベース22に記憶された分割用ポリゴンデータは、ジオメトリ処理部23によって、例えば、1フレーム単位で読み出され、ジオメトリ処理部23は、ステップS51において、その分割用ポリゴンデータに対して、ユーザによる入力部28の操作に対応したジオメトリ処理（視点に応じた座標変換など）を施し、分割処理部24に供給する。分割処理部24では、ステップS52において、データ提供装置1の分割処理部14における場合と同様にして、分割用ポリゴンデータに対して細分割処理が施され、その結果得られるサブポリゴンが、レンダリング部25に供給される。レンダリング部25は、ステップS53において、分割処理部14からのサブポリゴンを透視変換（透視投影変換）し、ステップS54に進む。ステップS54では、レンダリング部25において、その変換後のデータに対して、輝度計算（シェーディング（例えば、グーローシェーディングやフォーンシェーディングなど））を施し、さらに、テクスチャアドレスの計算などを行うことで、各画素のRGB値が求められる。そして、ステップS55では、レンダリング部25において、各画素のRGB値が、図示せぬフレームバッファに書き込まれ、次のフレームについての分割用ポリゴンデータが、分割用データベース22から読み出されるのを待って、ステップS51に戻る。なお、フレ

ームバッファに書き込まれたRGB値としての3次元画像は、所定のタイミングで読み出され、表示部26において表示される。

従って、ユーザ端末4でも、データ提供装置1における場合と同様に、大まかなポリゴンについての分割用ポリゴンデータから、滑らかな3次元形状を構成するサブポリゴンを生成することができる。

次に、第44図は、ユーザ端末4が、例えば、ビデオゲーム機である場合の構成例を示している。なお、ユーザ端末4が、ビデオゲーム機である場合においては、ユーザ端末4に対しては、データ提供装置1から伝送媒体2または記録媒体3を介して、3次元画像を表示するためのデータの他、ゲームのプログラム（コンピュータプログラム）なども提供されるようになっている。

このビデオゲーム機は、各ブロックにおいてデータをやりとりするためのバスとして、メインバス101およびサブバス102の2種類のバスを有しており、このメインバス101とサブバス102とは、バスコントローラ116を介して接続されている。

メインバス101には、バスコントローラ116の他、例えばマイクロプロセッサなどからなるメインCPU（Central Processing Unit）111、例えばRAM（Random Access Memory）などでなるメインメモリ112、メインDMAC（Direct Memory Access Controller）113、MDEC（MPEG（Moving Picture Experts Group）Decoder）、およびGPU（Graphic Processor Unit）115が接続されている。

サブバス102には、バスコントローラ116の他、GPU115、例えばメインCPU111と同様に構成されるサブCPU121、例えばメインメモリ112と同様に構成されるサブメモリ122、サブDMAC123、オペレーティングシステムなどが格納されたROM（Read Only Memory）124、SPU（Sound Processing Unit）125、AT

M (Asynchronous Transmission Mode) 通信部 1 2 6、補助記憶装置 1 2 7、および入力デバイス用 I / F (Interface) 1 2 8 が接続されている。

5 なお、ここでは、メインバス 1 0 1 では、高速でデータのやりとりが行われるようになされており、サブバス 1 0 2 では、低速でデータのやりとりが行われるようになされている。即ち、低速でやりとりが可能なデータについては、サブバス 1 0 2 を用いることで、メインバス 1 0 1 の高速性を確保するようになされている。

10 バスコントローラ 1 1 6 は、メインバス 1 0 1 とサブバス 1 0 2 とを切り離したり、メインバス 1 0 1 にサブバス 1 0 2 を接続したりするようになされている。メインバス 1 0 1 とサブバス 1 0 2 とが切り離された場合、メインバス 1 0 1 上からは、メインバス 1 0 1 に接続されたデバイスのみにしかアクセスできず、また、サブバス 1 0 2 上からも、サブバスに接続されたデバイスのみにしかアクセスすることができないが、
15 メインバス 1 0 1 にサブバス 1 0 2 が接続された場合には、メインバス 1 0 1 およびサブバス 1 0 2 のいずれからであっても、いずれのデバイスにもアクセスすることができる。なお、例えば、装置の電源がオンにされた直後などの初期状態においては、バスコントローラ 1 1 6 はオープン状態になっている（メインバス 1 0 1 とサブバス 1 0 2 とが接続された状態となっている）。
20

 メイン CPU 1 1 1 は、メインメモリ 1 1 2 に記憶されたプログラムにしたがって各種の処理を行うようになされている。即ち、メイン CPU 1 1 1 は、例えば、装置が起動されると、バスコントローラ 1 1 6 を介して、サブバス 1 0 2 上にある（サブバス 1 0 2 に接続された）ROM 1 2 4 からブートプログラムを読み出して実行する。これにより、
25 メイン CPU 1 1 1 は、補助記憶装置 1 2 7 からアプリケーションプログ

ラム（ここでは、ゲームのプログラムや、上述の細分割処理などを行うためのプログラム）および必要なデータを、メインメモリ 112 やサブメモリ 112 にロードさせる。そして、メインCPU 111 は、このようにしてメインメモリ 112 にロードさせたプログラムを実行する。

- 5 メインCPU 111 は、GTE (Geometry Transfer Engine) 117 を内蔵しており、このGTE 117 は、例えば複数の演算を並列に実行する並列演算機構を備え、メインCPU 111 からの要求に応じて、座標変換などのジオメトリ処理のための演算処理を高速に行うようになされている。このように、GTE 117 は、メインCPU 111 からの要求にしたがった処理（ジオメトリ処理）を行うことにより、表示すべき
- 10 3次元画像を構成するポリゴンのデータを生成し、メインCPU 111 に供給する。メインCPU 111 は、GTE 117 からポリゴンデータを受信すると、メインバス 101 を介して、GPU 115 に転送する。

- なお、メインCPU 111 は、キャッシュメモリ (Cache) 119 を内蔵しており、メインメモリ 112 にアクセスする代わりに、このキャッシュメモリ 119 にアクセスすることで、処理の高速化を図るようになされている。
- 15

- メインメモリ 112 は、上述したように、プログラムなどを記憶する他、メインCPU 111 の処理上必要なデータなどを記憶するようにもなされている。メインDMAC 113 は、メインバス 101 上のデバイスを対象に、DMA 転送の制御を行うようになされている。但し、バスコントローラ 116 がオープン状態にあるときは、メインDMAC 113 は、サブバス 102 上のデバイスをも対象として制御を行うようになされている。MDEC 114 は、メインCPU 111 と並列に動作可能なI/Oデバイスで、画像伸張エンジンとして機能するようになされている。
- 20
- 25 即ち、MDEC 114 は、MPEG 符号化されて圧縮された画像

データを複号化するようになされている。

GPU 115は、レンダリングプロセッサとして機能するようになされている。即ち、GPU 115は、メインCPU 111から送信されてくる、分割用ポリゴンデータを含むデータを受信し、細分割処理を行う
5 ことで、サブポリゴンに分割するようになされている。また、GPU 115は、サブポリゴンを透視投影変換することにより、2次元平面（画面座標系）上のデータにし、さらに、サブポリゴンの頂点の色データ（上述しなかったが、色データも、分割用ポリゴンデータに含まれている）と、その奥行き（観点からの深さ）を示すZ値などに基づいて、ポリゴン
10 を構成する画素データを計算し、グラフィックメモリ 118に書き込む（描画する）ようになされている。そして、GPU 115は、グラフィックメモリ 118に書き込んだ画素データを読み出し、ビデオ信号として出力するようになされている。なお、GPU 115は、必要に応じて、メインDMAC 113、あるいはサブバス 102上のデバイスから
15 らも分割用ポリゴンデータを受信し、そデータにしたがって、同様の処理を行うようになされている。

グラフィックメモリ 118は、例えば、DRAMなどで構成され、第45図に示すように、フレームメモリ 141、Zバッファ 142、およびテクスチャメモリ 143を有している。フレームメモリ 141は、画面
20 面に表示する画素データを、例えば、1フレーム分だけ記憶するようになされている。Zバッファ 142は、画面に表示する画像の中の最も手前にあるポリゴンのZ値を記憶するようになされており、例えば、1フレーム分のZ値を記憶することのできる記憶容量を有している。テクスチャメモリ 143は、ポリゴンに貼り付けるテクスチャのデータを記憶
25 するようになされている。

ここで、GPU 115は、これらのフレームメモリ 141、Zバッフ

ア 1 4 2、およびテクスチャメモリ 1 4 3を用いて処理を行うようになされている。即ち、GPU 1 1 5は、Zバッファ 1 4 2に、3次元画像を構成するサブポリゴンのうちの、最も手前にあるもののZ値を記憶させ、このZバッファ 1 4 2の記憶値に基づいて、フレームバッファ 1 4 1に、画素データ（RGB値）の描画を行うかどうかを決定する。そして、画素データを描画する場合には、テクスチャメモリ 1 4 3からテクスチャのデータを読み出し、そのデータを用いて、描画すべき画素データを求めて、フレームメモリ 1 4 1に描画するようになされている。

第 4 4 図に戻り、サブCPU 1 2 1は、サブメモリ 1 2 2に記憶されたプログラムを読み出して実行することにより、各種の処理を行うようになされている。サブメモリ 1 2 2には、メインメモリ 1 1 2と同様に、プログラムや必要なデータが記憶されるようになされている。サブDMAC 1 2 3は、サブバス 1 0 2上のデバイスを対象として、DMA転送の制御を行うようになされている。なお、サブDMAC 1 2 3は、バスコントローラ 1 1 6がクローズ状態にあるとき（メインバス 1 0 1とサブバス 1 0 2とが切り離されている状態にあるとき）のみ、バス権を獲得するようになされている。ROM 1 2 4は、上述したようにブートプログラムや、オペレーティングシステムなどを記憶している。なお、ROM 1 2 4には、メインCPU 1 1 1およびサブCPU 1 2 1の両方のプログラムが記憶されている。また、ROM 1 2 4は、ここでは、アクセス速度の遅いものが用いられており、そのため、サブバス 1 0 2上に設けられている。

SPU 1 2 5は、サブCPU 1 2 1またはサブDMAC 1 2 3から送信されてくるパケットを受信し、そのパケットに配置されているサウンドコマンドにしたがって、サウンドメモリ 1 2 9から音声データを読み出すようになされている。そして、SPU 1 2 5は、読み出した音声デ

ータを、図示せぬスピーカに供給して出力させるようになされている。
A T M通信部 1 2 6 は、例えば、伝送媒体 2 を介して行われる通信の制
御（A T M通信の制御）を行うようになされている。これにより、ビデ
オゲーム機のユーザは、他のビデオゲーム機のユーザと直接、あるいは
5 データ提供装置 1 や、インターネット上のサーバ、さらには、いわゆる
パソコン通信のセンタ局などを介してデータのやりとりをすることで対
戦することができるようになされている。

補助記憶装置 1 2 7 は、例えば、ディスクドライブなどで、記録媒体
3 に記録されている情報（プログラム、データ）を再生するようになさ
10 れている。入力デバイス用 I / F 1 2 8 は、各種の入力を与えるための
コントロールパッド 1 2 8 A、および他の装置によって再生された画像
または音声などの外部入力を受け付けるためのインターフェイス 1 2 8
B または 1 2 8 C など構成され、外部からの入力に応じた信号を、サ
ブバス 1 0 2 上に出力するようになされている。サウンドメモリ 1 2 9
15 は、音声データ（オーディオデータ）を記憶している。

なお、第 3 図のユーザ端末 4 において、受信／再生装置 2 1 は、第 4
4 図の A T M通信部 1 2 6 および補助記憶装置 1 2 7 に、分割用データ
ベース 2 2 は、第 4 4 図のメインメモリ 1 1 2 に、ジオメトリ処理部 2
3 は、第 4 4 図の G T E 1 1 7 に、分割処理部 2 4 およびレンダリング
20 部 2 5 は、第 4 4 図の G P U 1 1 5 に、テクスチャデータベース 2 7 は、
第 4 5 図のテクスチャメモリ 1 4 3 に、入力部 2 8 は、第 4 4 図のコン
trolパッド 1 2 8 A に、それぞれ対応する。

以上のように構成されるビデオゲーム機においては、装置の電源がオ
ンにされると、メイン C P U 1 1 1 において、ブートプログラムが R O
25 M 1 2 4 から読み出されて実行されることにより、A T M通信部 1 2 6
によって、伝送媒体 2 を介してプログラムおよびデータが受信され、あ

るいは、補助記憶装置 1 2 7 によって、記録媒体 3 からプログラムおよびデータが読み出され、メインメモリ 1 1 2 およびサブメモリ 1 2 2 に展開される。そして、メインCPU 1 1 1 またはサブCPU 1 2 1 それぞれにおいて、メインメモリ 1 1 2 またはサブメモリ 1 2 2 に展開されたプログラムが実行されることにより、ゲームの画像（ここでは、動画
5 像とする）、音声再生される。

即ち、例えば、メインCPU 1 1 1 において、メインメモリ 1 1 2 に記憶された分割用ポリゴンデータに対してジオメトリ処理が施され、メインバス 1 0 1 を介して、GPU 1 1 5 に供給される。

10 GPU 1 1 5 は、メインCPU 1 1 1 からの分割用ポリゴンデータを受信すると、細分割処理を行うことで、サブポリゴンに分割する。さらに、GPU 1 1 5 は、サブポリゴンを透視変換し、その変換後のサブポリゴンを、Zバッファ 1 4 2 を使用して、フレームメモリ 1 4 1 に描画する。フレームメモリ 1 4 1 に対する描画結果は、GPU 1 1 5 において適宜読み出され、ビデオ信号として出力される。これにより、ゲーム
15 のための 3 次元画像が、2 次元出力装置としての、例えば、表示部 2 6（第 3 図）に表示される。

一方、サブCPU 1 2 1 では、サブメモリ 1 2 2 に記憶されたデータにしたがって、音声の生成を指示するサウンドコマンドが生成される。
20 このサウンドコマンドは、パケット化され、サブバス 1 0 2 を介して、SPU 1 2 5 に供給される。SPU 1 2 5 は、サブCPU 1 2 1 からのサウンドコマンドにしたがって、サウンドメモリ 1 2 9 から音声データを読み出して出力する。これにより、ゲームの B G M (Background Music) その他の音声出力される。

25 以上のように、ポリゴンの頂点の座標と、その頂点における補間用ベクトルとから、その頂点と、他の頂点との間を補間する補間線を求め、

その補間線上にある補間点を、サブポリゴンの頂点として求めるようにしたので、ある程度の大まかなポリゴンについてのデータを与えるだけで、滑らかな3次元形状を実現することができる。

- さらに、滑らかな3次元形状を、大まかなポリゴンについてのデータ、
- 5 即ち、少ないデータで実現することができるので、例えば、インターネット上に構築されているWWW (World Wide Web) などにおいて、3次元画像を提供する場合には、データの保存および伝送の効率化を図ることができる。即ち、分割用ポリゴンデータは、伝送媒体2や記録媒体3として、比較的容量の小さなものを用いて、ユーザ端末4に提供することが
- 10 ことができる。

- また、例えば、3次元画像のリアルタイム表示が重要なビデオゲーム機や、その他のグラフィックスシステムでは、処理効率の観点から、観
- 15 点に近い3次元形状を細かく表示するとともに、視点から遠い3次元形状を粗く表示して、必要最小限のポリゴンを処理することが行われる。
- その際、3次元形状を、どの程度細かくするか（または粗くするか）という、3次元形状の細かさ（粗さ）のレベルは、レベルオブディテール（LOD (Level of Detail)）と呼ばれるが、細分割処理を行うときのポリゴンの分割数を、LODに応じて決めるようにすることで、適切な細かさ（粗さ）の3次元形状の表示を行うことが可能となる。

- 20 また、ポリゴンで構成される3次元形状の拡大を行う場合に、細分割処理を行い、ポリゴンを、拡大率に応じた数のサブポリゴンに分割することで、拡大により、3次元形状が粗くなるのを防止することが可能となる。即ち、この場合、拡大率によらず、一定の滑らかさの3次元形状を提供することが可能となる。

- 25 さらに、分割用ポリゴンデータ生成処理によって得られる分割用ポリゴンデータは、従来より3次元画像の表示に用いられているポリゴンの

頂点の座標と、各頂点における法線ベクトル（曲面補間用法線ベクトルは、従来、頂点に与えられている法線ベクトルに一致する）とを含むから、細分割処理を行うことができないような、従来からある低速のビデオゲーム機やその他のグラフィックスシステムにおいても取り扱うことが可能であり、粗くはなるが、3次元形状を表示することができる。

また、分割用ポリゴンデータは、データ量が少ないので、細分割処理を行う前に、3次元形状の変形や回転のためのジオメトリ処理、さらには、透視変換のためのZ値での除算（パースペクティブ除算）の前までの処理を行い、細分割処理後に得られるサブポリゴンに対して、透視変換のためのZ値での除算を施すようにすることで、ジオメトリ処理等における計算量を少なくすることができる。

さらに、本実施の形態では、補間線は、その補間線が補間する2つの点を通る円または楕円の円弧に等しくなるのが理想的であるとし、そのような補間線を求めるようにしたため、例えば、スプライン曲面やベジェ曲面などで、球や回転体などを表現する場合に比較して、少ないデータで、球や回転体などを構成するポリゴンを表現することができる。

以上、本発明を適用したデータ提供システムやビデオゲーム機について説明したが、本発明は、その他、画像に特殊効果を与えるエフェクタや、CADなどのコンピュータグラフィックス処理を行う装置などにも適用可能である。さらに、本発明は、例えば、ビデオカメラなどで撮影した自然画を符号化して記録再生し、または送受信する記録再生装置または伝送装置などにも適用可能である。即ち、分割用ポリゴンデータ生成処理は、ビデオカメラなどで撮影した自然画を、ポリゴンで表現するような符号化処理に適用することができ、細分割処理は、そのような符号化によって得られる分割用ポリゴンデータを、元の自然画に復号する復号処理に適用することができる。

なお、本発明は、動画像および静止画像のいずれの描画にも適用可能である。

さらに、本実施の形態では、3次元グラフィックスを対象としたが、本発明は、その他、例えば、2次元グラフィックスにも適用可能である。

- 5 即ち、本発明によれば、例えば、円や楕円の円弧を形成することができるような幾つかの点（少なくとも2つ）と、それらの点における補間用ベクトルとを与えるだけで、円や楕円の作図を容易に行うことができる。そして、この場合に得られる曲線の曲率は、第10図乃至第13図から分かるように滑らかに変化するので、曲線としても、滑らかに変化する
- 10 ものを得ることができる。

- また、細分割処理によるポリゴンの分割数は、上述したように、LODや拡大率によって決める他、例えば、細分割処理を行うハードウェアの処理能力によって決めたり、あるいは、乱数を用いてランダムに決めたりすることが可能である。ポリゴンの分割数を、細分割処理を行う
- 15 ハードウェアの処理能力によって決める場合には、その処理能力に適した滑らかさの3次元形状を表示することができる。一方、ポリゴンの分割数を、ランダムに決める場合には、3次元形状の表面に現れる模様（ポリゴンどうしの境界線によって構成される模様）を、ランダムに変化させることができる。

- 20 さらに、本実施の形態では、補間線は、その補間線が補間する2つの点を通る円または楕円の円弧に等しくなるのが理想的であるとし、そのような補間線を求めるようにしたが、補間線は、そのようなものに限定されるものではない。即ち、補間線としては、例えば、その補間線が補間する2つの点を通る、実現しようとする3次元形状に沿った曲線（枠
- 25 線）との自乗誤差が最小になるようなものを求めるようにしても良い。

また、本実施の形態では、 $\cos \theta'$ を、式(10)に示したように

近似するようにしたが、 $\cos \theta'$ は、そのような近似を行わずに、正確に求めるようにすることも可能である。また、本実施の形態では、 θ_1, θ_2 から 3 次のベジェ曲線の制御辺長比 $L_1/K, L_2/K$ を計算により求めるようにしたが、この計算を高速化するために、 (θ_1, θ_2) から $(L_1/K, L_2/K)$ への離散化された対応表を作っておき、この対応表を用いて $L_1/K, L_2/K$ を求めることも可能である。

さらに、本実施の形態では、補間線として、3 次のベジェ曲線を採用したが、補間線は、3 次以外のベジェ曲線であっても良いし、ベジェ曲線以外のパラメトリックな曲線その他であっても良い。

10 また、細分割処理により得られるサブポリゴンで構成される 3 次元形状が任意の形状でかまわない場合においては、補間用ベクトルとしては、枠線補間用法線ベクトルは必要なく、曲面補間用法線ベクトルだけで足りる。

15 さらに、本実施の形態では、頂点における枠線方向を表すベクトルとして、枠線の法線ベクトルを採用したが、頂点における枠線方向を表すベクトルとしては、例えば、上述したように、枠線の接線ベクトルを採用することも可能である。但し、この接線ベクトルは、枠線の法線ベクトルと 90 度だけ向きが異なるから、曲面補間用法線ベクトルとも異なることが多く、第 20 図のステップ S 18 において、1 のベクトルに統合されないことが多くなるため、分割量ポリゴンデータのデータ量が増加することとなる。

25 また、ユーザ端末 4 に対しては、上述のような細分割処理を行うためのコンピュータプログラムを、分割用ポリゴンデータとともに、伝送媒体 2 や記録媒体 3 を介して提供することができる。同様に、データ提供装置 1 に対しても、細分割処理や分割用ポリゴンデータ生成処理を行うためのコンピュータプログラムを、光ディスクや、光磁気ディスクその

他の記録媒体を介して提供したり、インターネットや衛星回線その他の伝送媒体を介して提供することが可能である。

- また、分割用ポリゴンデータ生成処理や細分割処理は、コンピュータプログラムをプロセッサに実行させることにより行う他、それ専用のハードウェアに行わせることも可能である。

さらに、本実施の形態では、3次元画像を、CRTや液晶ディスプレイなどの表示部16（表示部26）に表示させるようにしたが、本発明は、その他、例えば、3次元画像をプリンタ（2次元出力装置）によって印刷する場合などにも適用可能である。

- 10 さらに、本実施の形態では、3次元画像を、CRTや液晶ディスプレイなどの表示部16（表示部26）に表示させるようにしたが「本発明は、その他、例えば、3次元画像をプリンタ（2次元出力装置）によって印刷する場合などにも適用可能である。

- 請求の範囲第1項に記載の画像処理装置および請求の範囲第25項に記載の画像処理方法、並びに請求の範囲第49項に記載のプログラム提供媒体によれば、単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線が求められ、補間線上の点である補間点が、サブ単位図形の頂点として求められる。従って、大まかな単位図形から、例えば、滑らかな形状を構成するサブ単位図形を得ることが可能となる。

- 請求の範囲第74項に記載の画像処理装置および請求の範囲第91項に記載の画像処理方法、並びに請求の範囲第108項に記載のプログラム提供媒体によれば、操作手段が操作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルが生成される。従ってその補間

用ベクトルを用いることで、例えば、滑らかな形状を構成することが可能となる。

- 請求の範囲第 1 2 5 項に記載のデータ提供媒体によれば、単位図形が
5 入力された場合に、その単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点
との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを
生成することにより得られる、頂点における補間用ベクトルと、頂点の
座標とが、画像についてのデータとして、少なくとも提供される。従っ
て、その補間用ベクトルおよび頂点の座標を用いることで、例えば、滑
らかな形状を構成することが可能となる。
- 10 請求の範囲第 1 3 3 項に記載の画像処理装置によれば、操作手段が操
作されることにより入力された単位図形の頂点における、その頂点と他
の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベク
トルが生成される。そして、単位図形の頂点の座標および補間用ベクト
ルとから、補間線が求められ、補間線上の点である補間点が、サブ単位
15 図形の頂点として求められる。従って、大まかな単位図形から、例えば、
滑らかな形状を構成するサブ単位図形を得ることが可能となる。

請求の範囲

1. 単位図形の組合せにより定義される画像を処理することにより、
前記単位図形を、複数のサブ単位図形に分割する画像処理装置であって、
5 前記単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する
線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、前記頂点の座標とから、2つ
の頂点の間を補間する線である補間線を求める補間線算出手段と、
前記補間線上の点である補間点を、前記サブ単位図形の頂点として求
める補間点算出手段と
10 を備えることを特徴とする画像処理装置。
2. 前記単位図形が第1乃至第4の頂点を有し、前記第1と第2の頂
点を結ぶ線分と、前記第3と第4の頂点を結ぶ線分とが対向するととも
に、前記第1と第3の頂点を結ぶ線分と、前記第2と第4の頂点を結ぶ
線分とが対向する場合において、
15 前記補間線算出手段は、前記第1と第2の頂点の間を補間する第1の
補間線、前記第3と第4の頂点を補間する第2の補間線、前記第1と第
3の頂点の間を補間する第3の補間線、および前記第2と第4の頂点を
補間する第4の補間線を求め、さらに、前記第1の補間線上の補間点と、
前記第2の補間線上の補間点との間を補間する第5の補間線も求め、
20 前記補間点算出手段は、前記第1乃至第5の補間線上の補間点を、前
記サブ単位図形の頂点として求める
ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。
3. 前記第1の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、前
記第1および第2の頂点における前記補間用ベクトルから求めるととも
25 に、前記第2の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、前記
第3および第4の頂点における前記補間用ベクトルから求める補間用ベ

クトル算出手段をさらに備え、

前記補間線算出手段は、前記第 1 および第 2 の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルと、その補間点の座標とから、前記第 5 の補間線を求める

5 ことを特徴とする請求の範囲第 2 項に記載の画像処理装置。

4. 前記単位図形の第 1 乃至第 4 の頂点における前記補間用ベクトルは、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 3 項に記載の画像処理装置。

10 5. 前記単位図形の第 1 乃至第 4 の頂点における前記補間用ベクトルは、前記第 1 乃至第 4 の頂点を通る前記補間線それぞれの、前記第 1 乃至第 4 の頂点における方向を表すベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 3 項に記載の画像処理装置。

15 6. 前記単位図形の第 1 乃至第 4 の頂点における前記補間用ベクトルには、前記法線ベクトルの他に、前記第 1 乃至第 4 の頂点を通る前記補間線それぞれの、前記第 1 乃至第 4 の頂点における方向を表す補間線方向ベクトルも含まれる

ことを特徴とする請求の範囲第 4 項に記載の画像処理装置。

20 7. 前記補間線算出手段は、前記第 1 乃至第 4 の補間線を、前記補間線方向ベクトルを用いて求め、

前記補間用ベクトル算出手段は、前記第 1 および第 2 の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、前記法線ベクトルを用いて求める

ことを特徴とする請求の範囲第 6 項に記載の画像処理装置。

25 8. 前記第 1 および第 2 の頂点、第 3 および第 4 の頂点、前記第 1 および第 3 の頂点、または前記第 2 および第 4 の頂点のうちのいずれか 1 組の頂点が、同一の頂点である

ことを特徴とする請求の範囲第 2 項に記載の画像処理装置。

9. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルは、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の画像処理装置。

- 5 10. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルには、前記法線ベクトルの他に、前記補間線の、前記頂点における方向を表すベクトルも含まれる

ことを特徴とする請求の範囲第 9 項に記載の画像処理装置。

- 10 11. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における方向を表す補間線方向ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の画像処理装置。

12. 前記補間線方向ベクトルは、前記頂点を含む所定の平面に、その頂点と他の頂点とを結ぶ線分を投影した線が、前記補間線と接する場合の、前記所定の平面の法線方向のベクトルである

- 15 ことを特徴とする請求の範囲第 11 項に記載の画像処理装置。

13. 前記補間線方向ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における接線方向を表すベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 11 項に記載の画像処理装置。

- 20 14. 前記補間点における、その補間点と他の補間点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルを、前記頂点における補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出手段をさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の画像処理装置。

- 25 15. 1 の頂点と他の頂点との間の前記補間点と、前記 1 の頂点または他の頂点それぞれとの距離に対応する値 t とうしの比を、 $t : 1 - t$ とするとき、

前記補間用ベクトル算出手段は、前記 1 の頂点における補間用ベクトル

ルの $(1-t)$ 倍と、前記他の頂点における補間用ベクトルの t 倍との加算値に対応するものを、前記補間点における補間用ベクトルとして求める

ことを特徴とする請求の範囲第14項に記載の画像処理装置。

- 5 16. 前記補間用ベクトル算出手段によって求められた前記補間点における補間用ベクトルを補正する補正手段をさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第15項に記載の画像処理装置。

17. 前記補正手段は、

- 10 前記補間用ベクトル算出手段によって求められた前記補間点における補間用ベクトルと、前記補間点における前記補間線の接線方向の接線ベクトルとの外積を求め、

その外積と、前記接線ベクトルとの外積を求め、

その結果得られるベクトルを、前記補間点における補正後の補間用ベクトルとする

- 15 ことを特徴とする請求の範囲第16項に記載の画像処理装置。

18. 前記画像は、3次元画像であり、

前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリング手段をさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第17項に記載の画像処理装置。

- 20 19. 前記レンダリング手段は、前記補正後の補間用ベクトルに基づいて、シェーディングを施す

ことを特徴とする請求の範囲第18項に記載の画像処理装置。

20. 前記補間線は、ベジェ曲線である

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

- 25 21. 前記画像は、3次元画像であり、

前記補間線算出手段は、

前記ベジェ曲線である前記補間線が補間する 1 の頂点と他の頂点とを結ぶ直線と、その直線を、前記 1 の頂点または他の頂点を含む平面であって、前記 1 の頂点または他の頂点における補間用ベクトルに垂直な平面に投影したもののそれぞれとがなす第 1 または第 2 の角度を求める角度算出手段と、

前記第 1 および第 2 の角度に基づいて、前記 1 の頂点または他の頂点から、前記ベジェ曲線の第 1 または第 2 の制御点までの距離である第 1 または第 2 の制御辺長をそれぞれ求める距離算出手段と、

前記第 1 または第 2 の制御辺長に基づいて、前記第 1 または第 2 の制御点をそれぞれ求めることにより、前記 1 の頂点と、他の頂点との間を補間する補間線としての前記ベジェ曲線を求めるベジェ曲線算出手段とを有する

ことを特徴とする請求の範囲第 20 項に記載の画像処理装置。

22. 前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルが記録媒体に記録されている場合に、その記録媒体から、前記頂点の座標および補間用ベクトルを再生する再生手段をさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の画像処理装置。

23. 前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルが伝送路を介して伝送されてくる場合に、その伝送路を介して伝送されてくる前記頂点の座標および補間用ベクトルを受信する受信手段をさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第 1 項に記載の画像処理装置。

24. 前記画像は、3次元画像であり、

所定の入力を与えるときに操作される操作手段と、

前記単位図形に関するデータを、記録媒体から読み込み、そのデータに対して、前記操作手段からの入力に対応するジオメトリ処理を施すジオメトリ処理手段と、

前記ジオメトリ処理後の前記単位図形を分割して得られる前記サブ単位図形を、2次元出力装置の座標系のものに変換する変換手段と、

前記変換手段によって変換された前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリング手段と

5 をさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第1項に記載の画像処理装置。

25. 単位図形の組合せにより定義される画像を処理することにより、前記単位図形を、複数のサブ単位図形に分割する画像処理装置の画像処理方法であって、

10 前記単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、前記頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線を求める補間線算出ステップと、

前記補間線上の点である補間点を、前記サブ単位図形の頂点として求める補間点算出ステップと

15 を備えることを特徴とする画像処理方法。

26. 前記単位図形が第1乃至第4の頂点を有し、前記第1と第2の頂点を結ぶ線分と、前記第3と第4の頂点を結ぶ線分とが対向するとともに、前記第1と第3の頂点を結ぶ線分と、前記第2と第4の頂点を結ぶ線分とが対向する場合において、

20 前記補間線算出ステップにおいて、前記第1と第2の頂点の間を補間する第1の補間線、前記第3と第4の頂点を補間する第2の補間線、前記第1と第3の頂点の間を補間する第3の補間線、および前記第2と第4の頂点を補間する第4の補間線を求め、さらに、前記第1の補間線上の補間点と、前記第2の補間線上の補間点との間を補間する第5の補間
25 線も求め、

前記補間点算出ステップにおいて、前記第1乃至第5の補間線上の補

間点を、前記サブ単位図形の頂点として求める

ことを特徴とする請求の範囲第 2 5 項に記載の画像処理方法。

- 2 7. 前記第 1 の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、
前記第 1 および第 2 の頂点における前記補間用ベクトルから求めるとと
5 もに、前記第 2 の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、前
記第 3 および第 4 の頂点における前記補間用ベクトルから求める補間用
ベクトル算出ステップをさらに備え、

- 前記補間線算出ステップにおいて、前記第 1 および第 2 の補間線上の
補間点における前記補間用ベクトルと、その補間点の座標とから、前記
10 第 5 の補間線を求める

ことを特徴とする請求の範囲第 2 6 項に記載の画像処理方法。

- 2 8. 前記単位図形の第 1 乃至第 4 の頂点における前記補間用ベクト
ルは、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベ
クトルである

- 15 ことを特徴とする請求の範囲第 2 7 項に記載の画像処理方法。

2 9. 前記単位図形の第 1 乃至第 4 の頂点における前記補間用ベクト
ルは、前記第 1 乃至第 4 の頂点を通る前記補間線それぞれの、前記第 1
乃至第 4 の頂点における方向を表すベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 2 7 項に記載の画像処理方法。

- 20 3 0. 前記単位図形の第 1 乃至第 4 の頂点における前記補間用ベクト
ルには、前記法線ベクトルの他に、前記第 1 乃至第 4 の頂点を通る前記
補間線それぞれの、前記第 1 乃至第 4 の頂点における方向を表す補間線
方向ベクトルも含まれる

ことを特徴とする請求の範囲第 2 8 項に記載の画像処理方法。

- 25 3 1. 前記補間線算出ステップにおいて、前記第 1 乃至第 4 の補間線
を、前記補間線方向ベクトルを用いて求め、

前記補間用ベクトル算出ステップにおいて、前記第 1 および第 2 の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、前記法線ベクトルを用いて求める

ことを特徴とする請求の範囲第 30 項に記載の画像処理方法。

- 5 32. 前記第 1 および第 2 の頂点、第 3 および第 4 の頂点、前記第 1 および第 3 の頂点、または前記第 2 および第 4 の頂点のうちのいずれか 1 組の頂点が、同一の頂点である

ことを特徴とする請求の範囲第 26 項に記載の画像処理方法。

- 10 33. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルは、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 25 項に記載の画像処理方法。

34. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルには、前記法線ベクトルの他に、前記補間線の、前記頂点における方向を表すベクトルも含まれる

- 15 ことを特徴とする請求の範囲第 33 項に記載の画像処理方法。

35. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における方向を表す補間線方向ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 25 項に記載の画像処理方法。

- 20 36. 前記補間線方向ベクトルは、前記頂点を含む所定の平面に、その頂点と他の頂点とを結ぶ線分を投影した線が、前記補間線と接する場合の、前記所定の平面の法線方向のベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 35 項に記載の画像処理方法。

37. 前記補間線方向ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における接線方向を表すベクトルである

- 25 ことを特徴とする請求の範囲第 35 項に記載の画像処理方法。

38. 前記補間点における、その補間点と他の補間点との間を補間す

る線を求めるのに用いる補間用ベクトルを、前記頂点における補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出ステップをさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第25項に記載の画像処理方法。

39. 1の頂点と他の頂点との間の前記補間点と、前記1の頂点または他の頂点それぞれとの距離に対応する値どうしの比を、 $t : 1 - t$ とするとき、

- 前記補間用ベクトル算出ステップにおいて、前記1の頂点における補間用ベクトルの $(1 - t)$ 倍と、前記他の頂点における補間用ベクトルの t 倍との加算値に対応するものを、前記補間点における補間用ベクトルとして求める

ことを特徴とする請求の範囲第38項に記載の画像処理方法。

40. 前記補間用ベクトル算出ステップで求められた前記補間点における補間用ベクトルを補正する補正ステップをさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第39項に記載の画像処理方法。

- 15 41. 前記補正ステップにおいて、

前記補間用ベクトル算出ステップで求められた前記補間点における補間用ベクトルと、前記補間点における前記補間線の接線方向の接線ベクトルとの外積を求め、

その外積と、前記接線ベクトルとの外積を求め、

- 20 その結果得られるベクトルを、前記補間点における補正後の補間用ベクトルとする

ことを特徴とする請求の範囲第40項に記載の画像処理方法。

42. 前記画像は、3次元画像であり、

- 前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリングステップをさらに
25 備える

ことを特徴とする請求の範囲第41項に記載の画像処理方法。

4 3 . 前記レンダリングステップにおいて、前記補正後の補間用ベクトルに基づいて、シェーディングを施す

ことを特徴とする請求の範囲第 4 2 項に記載の画像処理方法。

4 4 . 前記補間線は、ベジェ曲線である

5 ことを特徴とする請求の範囲第 2 5 項に記載の画像処理方法。

4 5 . 前記画像は、3 次元画像であり、

前記補間線算出ステップは、

前記ベジェ曲線である前記補間線が補間する 1 の頂点と他の頂点とを
結ぶ直線と、その直線を、前記 1 の頂点または他の頂点を含む平面であ
10 って、前記 1 の頂点または他の頂点における補間用ベクトルに垂直な平
面に投影したものそれぞれとがなす第 1 または第 2 の角度を求める角度
算出ステップと、

前記第 1 および第 2 の角度に基づいて、前記 1 の頂点または他の頂点
から、前記ベジェ曲線の第 1 または第 2 の制御点までの距離である第 1
15 または第 2 の制御辺長をそれぞれ求める距離算出ステップと、

前記第 1 または第 2 の制御辺長に基づいて、前記第 1 または第 2 の制
御点をそれぞれ求めることにより、前記 1 の頂点と、他の頂点との間を
補間する補間線としての前記ベジェ曲線を求めるベジェ曲線算出ステッ
プと

20 を有する

ことを特徴とする請求の範囲第 4 4 項に記載の画像処理方法。

4 6 . 前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルが記録媒体に
記録されている場合に、その記録媒体から、前記頂点の座標および補間
用ベクトルを再生する再生ステップをさらに備える

25 ことを特徴とする請求の範囲第 2 5 項に記載の画像処理方法。

4 7 . 前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルが伝送路を介

して伝送されてくる場合に、その伝送路を介して伝送されてくる前記頂点の座標および補間用ベクトルを受信する受信ステップをさらに備えることを特徴とする請求の範囲第25項に記載の画像処理方法。

48. 前記画像は、3次元画像であり、

- 5 前記画像処理装置は、所定の入力を与えるときに操作される操作手段を備え、

前記単位図形に関するデータを、記録媒体から読み込み、そのデータに対して、前記操作手段からの入力に対応するジオメトリ処理を施すジオメトリ処理ステップと、

- 10 前記ジオメトリ処理後の前記単位図形を分割して得られる前記サブ単位図形を

2次元出力装置の座標系のものに変換する変換ステップと、

前記変換ステップで変換された前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリングステップと

- 15 をさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第25項に記載の画像処理方法。

49. 単位図形の組合せにより定義される画像を処理することにより、前記単位図形を、複数のサブ単位図形に分割する処理をコンピュータに行わせるためのコンピュータプログラムを提供するプログラム提供媒体
20 であって、

前記単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルと、前記頂点の座標とから、2つの頂点の間を補間する線である補間線を求める補間線算出ステップと、

- 前記補間線上の点である補間点を、前記サブ単位図形の頂点として求める補間点算出ステップと
25

を備えるコンピュータプログラムを提供する

ことを特徴とするプログラム提供媒体。

50. 前記単位図形が第1乃至第4の頂点を有し、前記第1と第2の頂点を結ぶ線分と、前記第3と第4の頂点を結ぶ線分とが対向するとともに、前記第1と第3の頂点を結ぶ線分と、前記第2と第4の頂点を結ぶ線分とが対向する場合において、

- 前記補間線算出ステップにおいて、前記第1と第2の頂点の間を補間する第1の補間線、前記第3と第4の頂点を補間する第2の補間線、前記第1と第3の頂点の間を補間する第3の補間線、および前記第2と第4の頂点を補間する第4の補間線を求め、さらに、前記第1の補間線上の補間点と、前記第2の補間線上の補間点との間を補間する第5の補間線も求め、

前記補間点算出ステップにおいて、前記第1乃至第5の補間線上の補間点を、前記サブ単位図形の頂点として求める

ことを特徴とする請求の範囲第49項に記載のプログラム提供媒体。

51. 前記コンピュータプログラムは、前記第1の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、前記第1および第2の頂点における前記補間用ベクトルから求めるとともに、前記第2の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、前記第3および第4の頂点における前記補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出ステップをさらに備え、
- 前記補間線算出ステップにおいて、前記第1および第2の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルと、その補間点の座標とから、前記第5の補間線を求める

ことを特徴とする請求の範囲第50項に記載のプログラム提供媒体。

52. 前記単位図形の第1乃至第4の頂点における前記補間用ベクトルは、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 5 1 項に記載のプログラム提供媒体。

5 3. 前記単位図形の第 1 乃至第 4 の頂点における前記補間用ベクトルは、前記第 1 乃至第 4 の頂点を通る前記補間線それぞれの、前記第 1 乃至第 4 の頂点における方向を表すベクトルである

5 ことを特徴とする請求の範囲第 5 1 項に記載のプログラム提供媒体。

5 4. 前記単位図形の第 1 乃至第 4 の頂点における前記補間用ベクトルには、前記法線ベクトルの他に、前記第 1 乃至第 4 の頂点を通る前記補間線それぞれの、前記第 1 乃至第 4 の頂点における方向を表す補間線方向ベクトルも含まれる

10 ことを特徴とする請求の範囲第 5 2 項に記載のプログラム提供媒体。

5 5. 前記補間線算出ステップにおいて、前記第 1 乃至第 4 の補間線を、前記補間線方向ベクトルを用いて求め、

前記補間用ベクトル算出ステップにおいて、前記第 1 および第 2 の補間線上の補間点における前記補間用ベクトルを、前記法線ベクトルを用

15 いて求める

ことを特徴とする請求の範囲第 5 4 項に記載のプログラム提供媒体。

5 6. 前記第 1 および第 2 の頂点、第 3 および第 4 の頂点、前記第 1 および第 3 の頂点、または前記第 2 および第 4 の頂点のうちのいずれか 1 組の頂点が、同一の頂点である

20 ことを特徴とする請求の範囲第 5 0 項に記載のプログラム提供媒体。

5 7. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルは、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 4 9 項に記載のプログラム提供媒体。

5 8. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルには、前記法線ベクトルの他に、前記補間線の、前記頂点における方向を表すベクトルも含まれる

25

ことを特徴とする請求の範囲第 5 7 項に記載のプログラム提供媒体。

5 9. 前記単位図形の頂点における前記補間用ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における方向を表す補間線方向ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 4 9 項に記載のプログラム提供媒体。

5 6 0. 前記補間線方向ベクトルは、前記頂点を含む所定の平面に、その頂点と他の頂点とを結ぶ線分を投影した線が、前記補間線と接する場合の、前記所定の平面の法線方向のベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 5 9 項に記載のプログラム提供媒体。

6 1. 前記補間線方向ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における
10 接線方向を表すベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 5 9 項に記載のプログラム提供媒体。

6 2. 前記コンピュータプログラムは、前記補間点における、その補間点と他の補間点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルを、前記頂点における補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出
15 ステップをさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第 4 9 項に記載のプログラム提供媒体。

6 3. 1 の頂点と他の頂点との間の前記補間点と、前記 1 の頂点または他の頂点それぞれとの距離に対応する値 t の比を、 $t : 1 - t$ とするとき、

20 前記補間用ベクトル算出ステップにおいて、前記 1 の頂点における補間用ベクトルの $(1 - t)$ 倍と、前記他の頂点における補間用ベクトルの t 倍との加算値に対応するものを、前記補間点における補間用ベクトルとして求める

ことを特徴とする請求の範囲第 6 2 項に記載のプログラム提供媒体。

25 6 4. 前記コンピュータプログラムは、前記補間用ベクトル算出ステップで求められた前記補間点における補間用ベクトルを補正する補正ス

テップをさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第 6 3 項に記載のプログラム提供媒体。

6 5 . 前記補正ステップにおいて、

5 前記補間用ベクトル算出ステップで求められた前記補間点における補間用ベクトルと、前記補間点における前記補間線の接線方向の接線ベクトルとの外積を求め、

その外積と、前記接線ベクトルとの外積を求め、

その結果得られるベクトルを、前記補間点における補正後の補間用ベクトルとする

10 ことを特徴とする請求の範囲第 6 4 項に記載のプログラム提供媒体。

6 6 . 前記画像は、3 次元画像であり、

前記コンピュータプログラムは、前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリングステップをさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第 6 5 項に記載のプログラム提供媒体。

15 6 7 . 前記レンダリングステップにおいて、前記補正後の補間用ベクトルに基づいて、シェーディングを施す

ことを特徴とする請求の範囲第 6 6 項に記載のプログラム提供媒体。

6 8 . 前記補間線は、ベジェ曲線である

ことを特徴とする請求の範囲第 4 9 項に記載のプログラム提供媒体。

20 6 9 . 前記画像は、3 次元画像であり、

前記補間線算出ステップは、

前記ベジェ曲線である前記補間線が補間する 1 の頂点と他の頂点とを結ぶ直線と、その直線を、前記 1 の頂点または他の頂点を含む平面であって、前記 1 の頂点または他の頂点における補間用ベクトルに垂直な平面に投影したものそれぞれとがなす第 1 または第 2 の角度を求める角度
25 算出ステップと、

前記第 1 および第 2 の角度に基づいて、前記 1 の頂点または他の頂点から、前記ベジェ曲線の第 1 または第 2 の制御点までの距離である第 1 または第 2 の制御辺長をそれぞれ求める距離算出ステップと、

- 5 前記第 1 または第 2 の制御辺長に基づいて、前記第 1 または第 2 の制御点をそれぞれ求めることにより、前記 1 の頂点と、他の頂点との間を補間する補間線としての前記ベジェ曲線を求めるベジェ曲線算出ステップと

を有する

ことを特徴とする請求の範囲第 6 8 項に記載のプログラム提供媒体。

- 10 70. 前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルが記録媒体に記録されている場合において、

前記コンピュータプログラムは、前記記録媒体から、前記頂点の座標および補間用ベクトルを再生する再生ステップをさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第 4 9 項に記載のプログラム提供媒体。

- 15 71. 前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルが伝送路を介して伝送されてくる場合において、

前記コンピュータプログラムは、伝送路を介して伝送されてくる前記頂点の座標および補間用ベクトルを受信する受信ステップをさらに備える

- 20 ことを特徴とする請求の範囲第 4 9 項に記載のプログラム提供媒体。

72. 前記画像は、3 次元画像であり、

前記コンピュータは、所定の入力を与えるときに操作される操作手段を備え、

前記コンピュータプログラムは、

- 25 前記単位図形に関するデータを、記録媒体から読み込み、そのデータに対して、前記操作手段からの入力に対応するジオメトリ処理を施すジ

オメトリ処理ステップと、

前記ジオメトリ処理後の前記単位図形を分割して得られる前記サブ単位図形を、2次元出力装置の座標系のものに変換する変換ステップと、

前記変換ステップで変換された前記サブ単位図形をレンダリングする

5 レンダリングステップと

をさらに備える

ことを特徴とする請求の範囲第49項に記載のプログラム提供媒体。

73. 前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルも提供する

ことを特徴とする請求の範囲第49項に記載のプログラム提供媒体。

10 74. 単位図形の組合せにより定義される画像を処理する画像処理装置であって、

前記単位図形を入力するときに操作される操作手段と、

前記操作手段が操作されることにより入力された前記単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求め

15 るのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成手段と、

前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを提供するための提供手段と

を備えることを特徴とする画像処理装置。

20 75. 前記提供手段は、前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを記録媒体に記録することにより提供する

ことを特徴とする請求の範囲第74項に記載の画像処理装置。

76. 前記提供手段は、前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを伝送路を介して伝送することにより提供する

ことを特徴とする請求の範囲第74項に記載の画像処理装置。

25 77. 前記補間用ベクトル生成手段は、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルを、前記補間用ベクトルとし

て生成する

ことを特徴とする請求の範囲第 7 4 項に記載の画像処理装置。

- 7 8. 前記補間用ベクトル生成手段は、前記法線ベクトルの他に、前記補間線の、前記頂点における方向を表すベクトルも、前記補間用ベクトルとして生成する

ことを特徴とする請求の範囲第 7 7 項に記載の画像処理装置。

- 7 9. 前記補間用ベクトル生成手段は、前記補間線の、前記頂点における方向を表す補間線方向ベクトルを、前記補間用ベクトルとして生成する

- 10 ことを特徴とする請求の範囲第 7 4 項に記載の画像処理装置。

- 8 0. 前記補間線方向ベクトルは、前記頂点を含む所定の平面に、その頂点と他の頂点とを結ぶ線分を投影した線が、前記補間線と接する場合の、前記所定の平面の法線方向のベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 7 9 項に記載の画像処理装置。

- 15 8 1. 前記補間線方向ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における接線方向を表すベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 7 9 項に記載の画像処理装置。

- 8 2. 前記単位図形を、前記頂点の座標および補間用ベクトルに基づいて、複数のサブ単位図形に分割する分割手段と、
- 20 前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリング手段と

をさらに備えることを特徴する請求の範囲第 7 4 項に記載の画像処理装置。

- 8 3. 前記分割手段は、

- 前記頂点の座標および前記補間用ベクトルに基づいて、前記補間線を求める補間線算出手段と、
- 25

前記補間線上の点である補間点を、前記サブ単位図形の頂点として求

める補間点算出手段と

を有する

ことを特徴とする請求の範囲第 8 2 項に記載の画像処理装置。

- 8 4. 前記分割手段は、前記補間点における、その補間点と他の補間
5 点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルを、前記頂点
における補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出手段をさらに有
する

ことを特徴とする請求の範囲第 8 3 項に記載の画像処理装置。

- 8 5. 1 の頂点と他の頂点との間の前記補間点と、前記 1 の頂点また
10 は他の頂点それぞれとの距離に対応する値 t の比を、 $t : 1 - t$ と
するとき、

- 前記補間用ベクトル算出手段は、前記 1 の頂点における補間用ベクト
ルの $(1 - t)$ 倍と、前記他の頂点における補間用ベクトルの t 倍との
加算値に対応するものを、前記補間点における補間用ベクトルとして求
15 める

ことを特徴とする請求の範囲第 8 4 項に記載の画像処理装置。

- 8 6. 前記分割手段は、前記補間用ベクトル算出手段によって求めら
れた前記補間点における補間用ベクトルを補正する補正手段をさらに有
する

- 20 ことを特徴とする請求の範囲第 8 5 項に記載の画像処理装置。

8 7. 前記補正手段は、

前記補間用ベクトル算出手段によって求められた前記補間点における
補間用ベクトルと、前記補間点における前記補間線の接線方向の接線ベ
クトルとの外積を求め、

- 25 その外積と、前記接線ベクトルとの外積を求め、
その結果得られるベクトルを、前記補間点における補正後の補間用ベ

クトルとする

ことを特徴とする請求の範囲第 8 6 項に記載の画像処理装置。

88. 前記レンダリング手段は、前記補正後の補間用ベクトルに基づいて、シェーディングを施す

5 ことを特徴とする請求の範囲第 8 7 項に記載の画像処理装置。

89. 前記補間線は、ベジェ曲線である

ことを特徴とする請求の範囲第 8 3 項に記載の画像処理装置。

90. 前記画像は、3 次元画像であり、
前記補間線算出手段は、

10 前記ベジェ曲線である前記補間線が補間する 1 の頂点と他の頂点とを結ぶ直線と、その直線を、前記 1 の頂点または他の頂点を含む平面であって、前記 1 の頂点または他の頂点における補間用ベクトルに垂直な平面に投影したものそれぞれとがなす第 1 または第 2 の角度を求める角度算出手段と、

15 前記第 1 および第 2 の角度に基づいて、前記 1 の頂点または他の頂点から、前記ベジェ曲線の第 1 または第 2 の制御点までの距離である第 1 または第 2 の制御辺長をそれぞれ求める距離算出手段と、

前記第 1 または第 2 の制御辺長に基づいて、前記第 1 または第 2 の制御点をそれぞれ求めることにより、前記 1 の頂点と、他の頂点との間を

20 補間する補間線としての前記ベジェ曲線を求めるベジェ曲線算出手段とを有する

ことを特徴とする請求の範囲第 8 9 項に記載の画像処理装置。

91. 単位図形の組合せにより定義される画像を処理する画像処理装置の画像処理方法であって、

25 前記画像処理装置は、前記単位図形を入力するときに操作される操作手段を備え、

前記操作手段が操作されることにより入力された前記単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成ステップと、
前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを提供するための提

5 供ステップと

を備えることを特徴とする画像処理方法。

9 2. 前記提供ステップにおいて、前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを記録媒体に記録することにより提供する

ことを特徴とする請求の範囲第 9 1 項に記載の画像処理方法。

10 9 3. 前記提供ステップにおいて、前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを伝送路を介して伝送することにより提供する

ことを特徴とする請求の範囲第 9 1 項に記載の画像処理方法。

9 4. 前記補間用ベクトル生成ステップにおいて、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルを、前記補間用ベ
15 クトルとして生成する

ことを特徴とする請求の範囲第 9 1 項に記載の画像処理方法。

9 5. 前記補間用ベクトル生成ステップにおいて、前記法線ベクトルの他に、前記補間線の、前記頂点における方向を表すベクトルも、前記補間用ベクトルとして生成する

20 ことを特徴とする請求の範囲第 9 4 項に記載の画像処理方法。

9 6. 前記補間用ベクトル生成ステップにおいて、前記補間線の、前記頂点における方向を表す補間線方向ベクトルを、前記補間用ベクトルとして生成する

ことを特徴とする請求の範囲第 9 1 項に記載の画像処理方法。

25 9 7. 前記補間線方向ベクトルは、前記頂点を含む所定の平面に、その頂点と他の頂点とを結ぶ線分を投影した線が、前記補間線と接する場

合の、前記所定の平面の法線方向のベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 9 6 項に記載の画像処理方法。

9 8. 前記補間線方向ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における接線方向を表すベクトルである

5 ことを特徴とする請求の範囲第 9 6 項に記載の画像処理方法。

9 9. 前記単位図形を、前記頂点の座標および補間用ベクトルに基づいて、複数のサブ単位図形に分割する分割ステップと、

前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリングステップと

10 をさらに備えることを特徴とする請求の範囲第 9 1 項に記載の画像処理方法。

1 0 0. 前記分割ステップは、

前記頂点の座標および前記補間用ベクトルに基づいて、前記補間線を求める補間線算出ステップと、

15 前記補間線上の点である補間点を、前記サブ単位図形の頂点として求める補間点算出ステップと

を有する

ことを特徴とする請求の範囲第 9 9 項に記載の画像処理方法。

1 0 1. 前記分割ステップは、前記補間点における、その補間点と他の補間点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルを、前
20 記頂点における補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出ステップをさらに有する

ことを特徴とする請求の範囲第 1 0 0 項に記載の画像処理方法。

1 0 2. 1 の頂点と他の頂点との間の前記補間点と、前記 1 の頂点または他の頂点それぞれとの距離に対応する値 t の比を、 $t : 1 - t$
25 とするとき、

前記補間用ベクトル算出ステップにおいて、前記 1 の頂点における補

間用ベクトルの $(1 - t)$ 倍と、前記他の頂点における補間用ベクトルの t 倍との加算値に対応するものを、前記補間点における補間用ベクトルとして求める

ことを特徴とする請求の範囲第 101 項に記載の画像処理方法。

- 5 103. 前記分割ステップは、前記補間用ベクトル算出ステップで求められた前記補間点における補間用ベクトルを補正する補正ステップをさらに有する

ことを特徴とする請求の範囲第 102 項に記載の画像処理方法。

- 10 104. 前記補正ステップにおいて、
前記補間用ベクトル算出ステップで求められた前記補間点における補間用ベクトルと、前記補間点における前記補間線の接線方向の接線ベクトルとの外積を求め、

その外積と、前記接線ベクトルとの外積を求め、

- 15 105. その結果得られるベクトルを、前記補間点における補正後の補間用ベクトルとする

ことを特徴とする請求の範囲第 103 項に記載の画像処理方法。

105. 前記レンダリングステップにおいて、前記補正後の補間用ベクトルに基づいて、シェーディングを施す

ことを特徴とする請求の範囲第 104 項に記載の画像処理方法。

- 20 106. 前記補間線は、ベジェ曲線である

ことを特徴とする請求の範囲第 100 項に記載の画像処理方法。

107. 前記画像は、3次元画像であり、

前記補間線算出ステップは、

- 25 前記ベジェ曲線である前記補間線が補間する 1 の頂点と他の頂点とを結ぶ直線と、その直線を、前記 1 の頂点または他の頂点を含む平面であって、前記 1 の頂点または他の頂点における補間用ベクトルに垂直な平

面に投影したものそれぞれとがなす第 1 または第 2 の角度を求める角度算出ステップと、

- 前記第 1 および第 2 の角度に基づいて、前記 1 の頂点または他の頂点から、前記ベジェ曲線の第 1 または第 2 の制御点までの距離である第 1
5 または第 2 の制御辺長をそれぞれ求める距離算出ステップと、

前記第 1 または第 2 の制御辺長に基づいて、前記第 1 または第 2 の制御点をそれぞれ求めることにより、前記 1 の頂点と、他の頂点との間を補間する補間線としての前記ベジェ曲線を求めるベジェ曲線算出ステップと

- 10 を有する

ことを特徴とする請求の範囲第 106 項に記載の画像処理方法。

108. 単位図形の組合せにより定義される画像を、コンピュータに処理させるためのコンピュータプログラムを提供するプログラム提供媒体であって、

- 15 前記コンピュータは、前記単位図形を入力するときに操作される操作手段を備え、

前記操作手段が操作されることにより入力された前記単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成ステップと、

- 20 前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを提供するための提供ステップと

を備えるコンピュータプログラムを提供する

ことを特徴とするプログラム提供媒体。

109. 前記提供ステップにおいて、前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを記録媒体に記録することにより提供する
25

ことを特徴とする請求の範囲第 108 項に記載のプログラム提供媒体。

1 1 0. 前記提供ステップにおいて、前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを伝送路を介して伝送することにより提供する

ことを特徴とする請求の範囲第 1 0 8 項に記載のプログラム提供媒体。

5 1 1 1. 前記補間用ベクトル生成ステップにおいて、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルを、前記補間用ベクトルとして生成する

ことを特徴とする請求の範囲第 1 0 8 項に記載のプログラム提供媒体。

10 1 1 2. 前記補間用ベクトル生成ステップにおいて、前記法線ベクトルの他に、前記補間線の、前記頂点における方向を表すベクトルも、前記補間用ベクトルとして生成する

ことを特徴とする請求の範囲第 1 1 1 項に記載のプログラム提供媒体。

15 1 1 3. 前記補間用ベクトル生成ステップにおいて、前記補間線の、前記頂点における方向を表す補間線方向ベクトルを、前記補間用ベクトルとして生成する

ことを特徴とする請求の範囲第 1 0 8 項に記載のプログラム提供媒体。

1 1 4. 前記補間線方向ベクトルは、前記頂点を含む所定の平面に、その頂点と他の頂点とを結ぶ線分を投影した線が、前記補間線と接する場合の、前記所定の平面の法線方向のベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 1 1 3 項に記載のプログラム提供媒体。

20 1 1 5. 前記補間線方向ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における接線方向を表すベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 1 1 3 項に記載のプログラム提供媒体。

1 1 6. 前記コンピュータプログラムは、
前記単位図形を、前記頂点の座標および補間用ベクトルに基づいて、
25 複数のサブ単位図形に分割する分割ステップと、
前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリングステップと

をさらに備える

ことを特徴する請求の範囲第108項に記載のプログラム提供媒体。

117. 前記分割ステップは、

前記頂点の座標および前記補間用ベクトルに基づいて、前記補間線を
5 求める補間線算出ステップと、

前記補間線上の点である補間点を、前記サブ単位図形の頂点として求
める補間点算出ステップと

を有する

ことを特徴とする請求の範囲第116項に記載のプログラム提供媒体。

10 118. 前記分割ステップは、前記補間点における、その補間点と他
の補間点との間を補間する線を求めるのに用いる補間用ベクトルを、前
記頂点における補間用ベクトルから求める補間用ベクトル算出ステップ
をさらに有する

ことを特徴とする請求の範囲第117項に記載のプログラム提供媒体。

15 119. 1の頂点と他の頂点との間の前記補間点と、前記1の頂点ま
たは他の頂点それぞれとの距離に対応する値どうしの比を、 $m : 1 - m$
とするとき、

前記補間用ベクトル算出ステップにおいて、前記1の頂点における補
間用ベクトルの $(1 - m)$ 倍と、前記他の頂点における補間用ベクトル
20 の m 倍との加算値に対応するものを、前記補間点における補間用ベクト
ルとして求める

ことを特徴とする請求の範囲第118項に記載のプログラム提供媒体。

120. 前記分割ステップは、前記補間用ベクトル算出ステップで求
められた前記補間点における補間用ベクトルを補正する補正ステップを
25 さらに有する

ことを特徴とする請求の範囲第119項に記載のプログラム提供媒体。

- 1 2 1. 前記補正ステップにおいて、
前記補間用ベクトル算出ステップで求められた前記補間点における補間用ベクトルと、前記補間点における前記補間線の接線方向の接線ベクトルとの外積を求め、
- 5 その外積と、前記接線ベクトルとの外積を求め、
その結果得られるベクトルを、前記補間点における補正後の補間用ベクトルとする
ことを特徴とする請求の範囲第 1 2 0 項に記載のプログラム提供媒体。
- 1 2 2. 前記レンダリングステップにおいて、前記補正後の補間用ベクトルに基づいて、シェーディングを施す
- 10 ことを特徴とする請求の範囲第 1 2 1 項に記載のプログラム提供媒体。
- 1 2 3. 前記補間線は、ベジェ曲線である
ことを特徴とする請求の範囲第 1 1 7 項に記載のプログラム提供媒体。
- 1 2 4. 前記画像は、3 次元画像であり、
- 15 前記補間線算出ステップは、
前記ベジェ曲線である前記補間線が補間する 1 の頂点と他の頂点とを結ぶ直線と、その直線を、前記 1 の頂点または他の頂点を含む平面であって、前記 1 の頂点または他の頂点における補間用ベクトルに垂直な平面に投影したものそれぞれとがなす第 1 または第 2 の角度を求める角度
- 20 算出ステップと、
前記第 1 および第 2 の角度に基づいて、前記 1 の頂点または他の頂点から、前記ベジェ曲線の第 1 または第 2 の制御点までの距離である第 1 または第 2 の制御辺長をそれぞれ求める距離算出ステップと、
前記第 1 または第 2 の制御辺長に基づいて、前記第 1 または第 2 の制
- 25 御点をそれぞれ求めることにより、前記 1 の頂点と、他の頂点との間を補間する補間線としての前記ベジェ曲線を求めるベジェ曲線算出ステッ

ブと

を有する

ことを特徴とする請求の範囲第 1 2 3 項に記載のプログラム提供媒体。

- 1 2 5. 単位図形の組合せにより定義される画像についてのデータを
5 提供するデータ提供媒体であって、

前記単位図形が入力された場合に、その単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する

- 10 ことにより得られる、前記頂点における補間用ベクトルと、前記頂点の座標とを、前記画像についてのデータとして、少なくとも提供する
ことを特徴とするデータ提供媒体。

1 2 6. 前記補間用ベクトルは、前記単位図形によって実現しようとする形状の法線方向の法線ベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 1 2 5 項に記載のデータ提供媒体。

- 15 1 2 7. 前記補間用ベクトルには、前記法線ベクトルの他に、前記補間線の、前記頂点における方向を表すベクトルも含まれる

ことを特徴とする請求の範囲第 1 2 6 項に記載のデータ提供媒体。

1 2 8. 前記補間用ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における方向を表す補間線方向ベクトルである

- 20 ことを特徴とする請求の範囲第 1 2 5 項に記載のデータ提供媒体。

1 2 9. 前記補間線方向ベクトルは、前記頂点を含む所定の平面に、その頂点と他の頂点とを結ぶ線分を投影した線が、前記補間線と接する場合の、前記所定の平面の法線方向のベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第 1 2 8 項に記載のデータ提供媒体。

- 25 1 3 0. 前記補間線方向ベクトルは、前記補間線の、前記頂点における接線方向を表すベクトルである

ことを特徴とする請求の範囲第128項に記載のデータ提供媒体。

131. 前記補間線は、ベジェ曲線である

ことを特徴とする請求の範囲第125項に記載のデータ提供媒体。

132. 前記画像は、3次元画像である

5 ことを特徴とする請求の範囲第125項に記載のデータ提供媒体。

133. 単位図形の組合せにより定義される画像を処理する画像処理装置であって、

前記画像についてのデータを提供する提供装置と、

10 前記提供装置からのデータの提供を受け、前記単位図形を、複数のサブ単位図形に分割するクライアント装置と
を備え、

前記提供装置は、

前記単位図形を入力するときに操作される操作手段と、

15 前記操作手段が操作されることにより入力された前記単位図形の頂点における、その頂点と他の頂点との間を補間する線である補間線を求めるのに用いる補間用ベクトルを生成する補間用ベクトル生成手段と、

前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルを、前記クライアント端末に提供する提供手段と

を有し、

20 前記クライアント装置は、

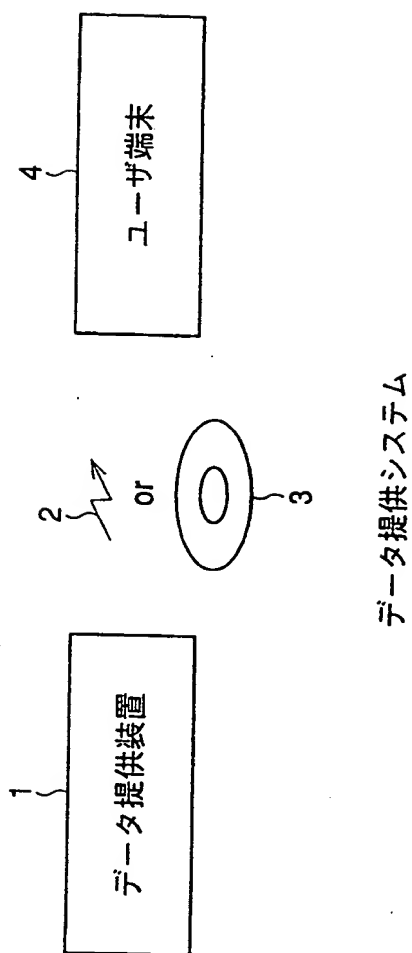
前記単位図形の頂点の座標および補間用ベクトルとから、前記補間線を求める補間線算出手段と、

前記補間線上の点である補間点を、前記サブ単位図形の頂点として求める補間点算出手段と、

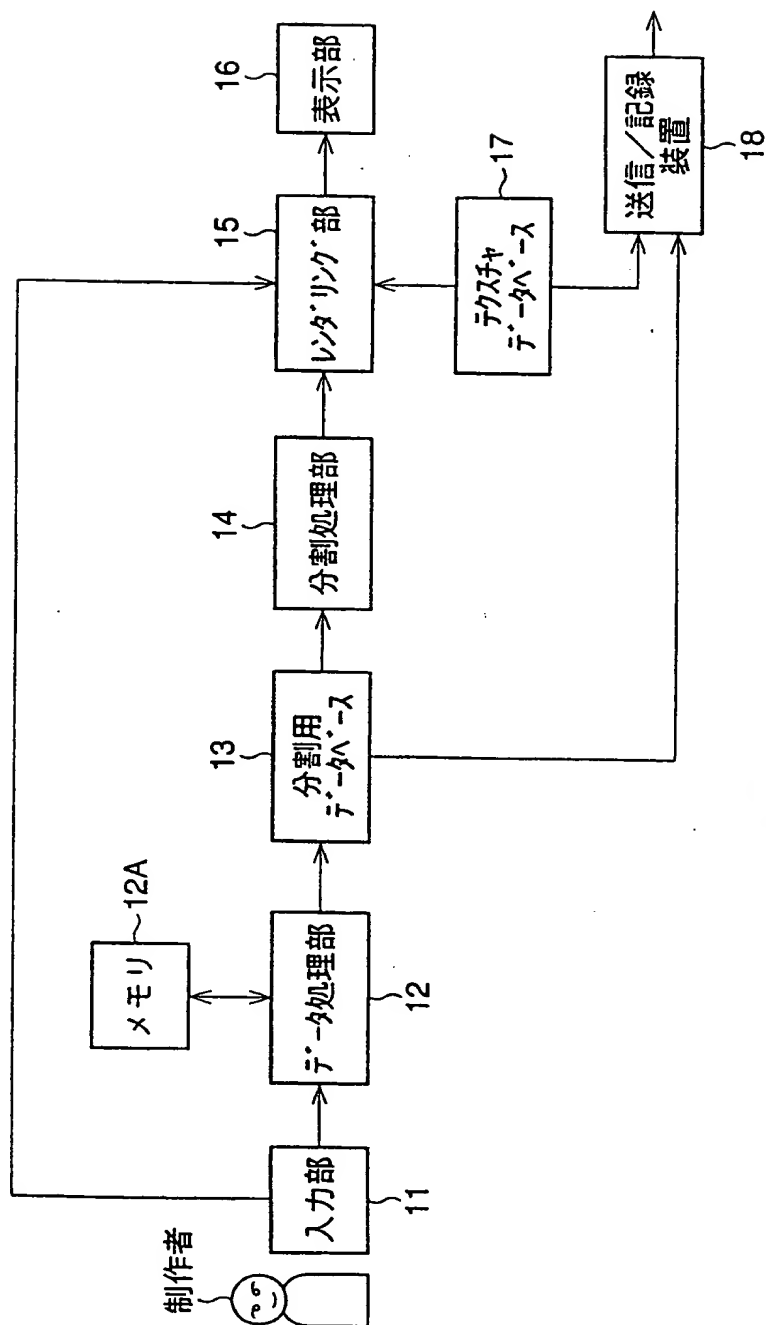
25 前記サブ単位図形を、2次元出力装置の座標系のものに変換する変換手段と、

前記変換手段によって変換された前記サブ単位図形をレンダリングするレンダリング手段と
を有する
ことを特徴とする画像処理装置。

第1図

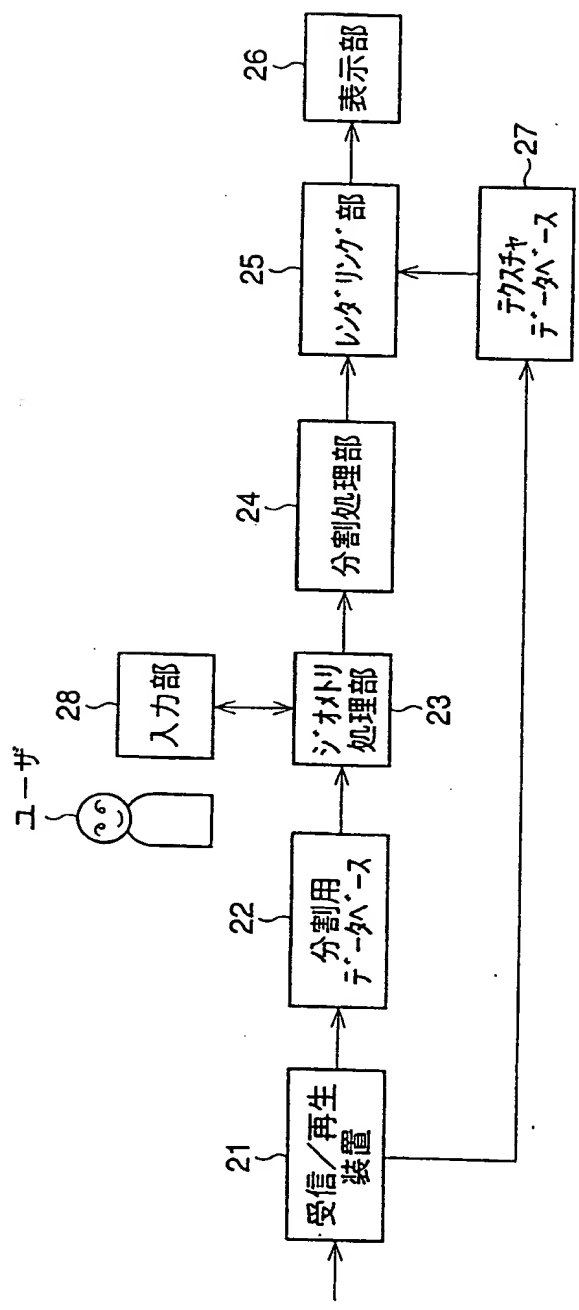


第2図



データ提供装置 1

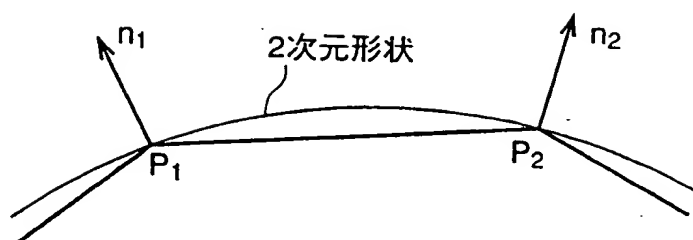
第3図



ユーザ端末 4

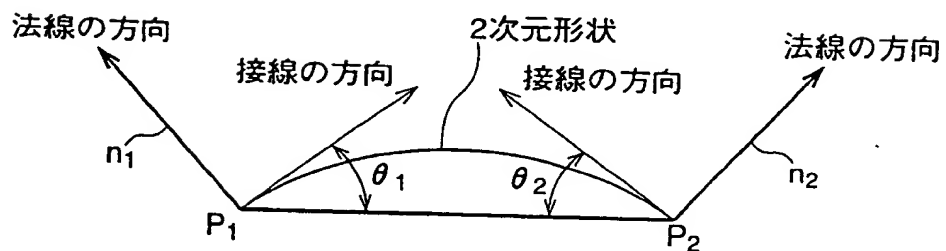
4/42

第4図

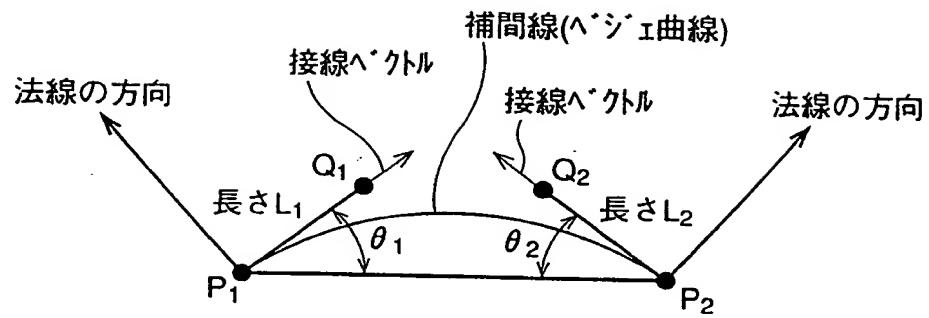


ポリゴンと法線ベクトル

第5図

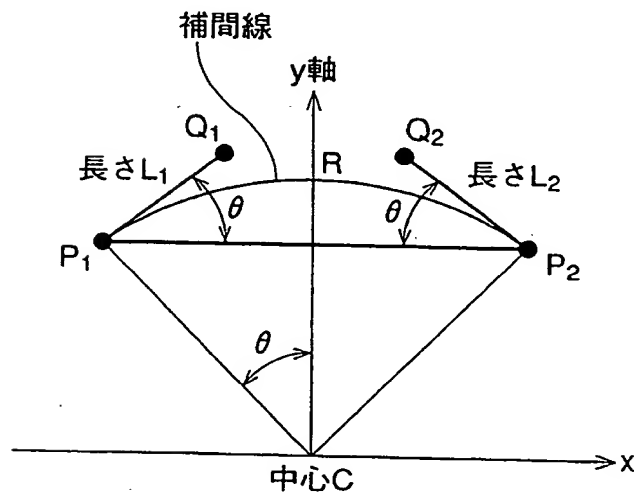


第6図

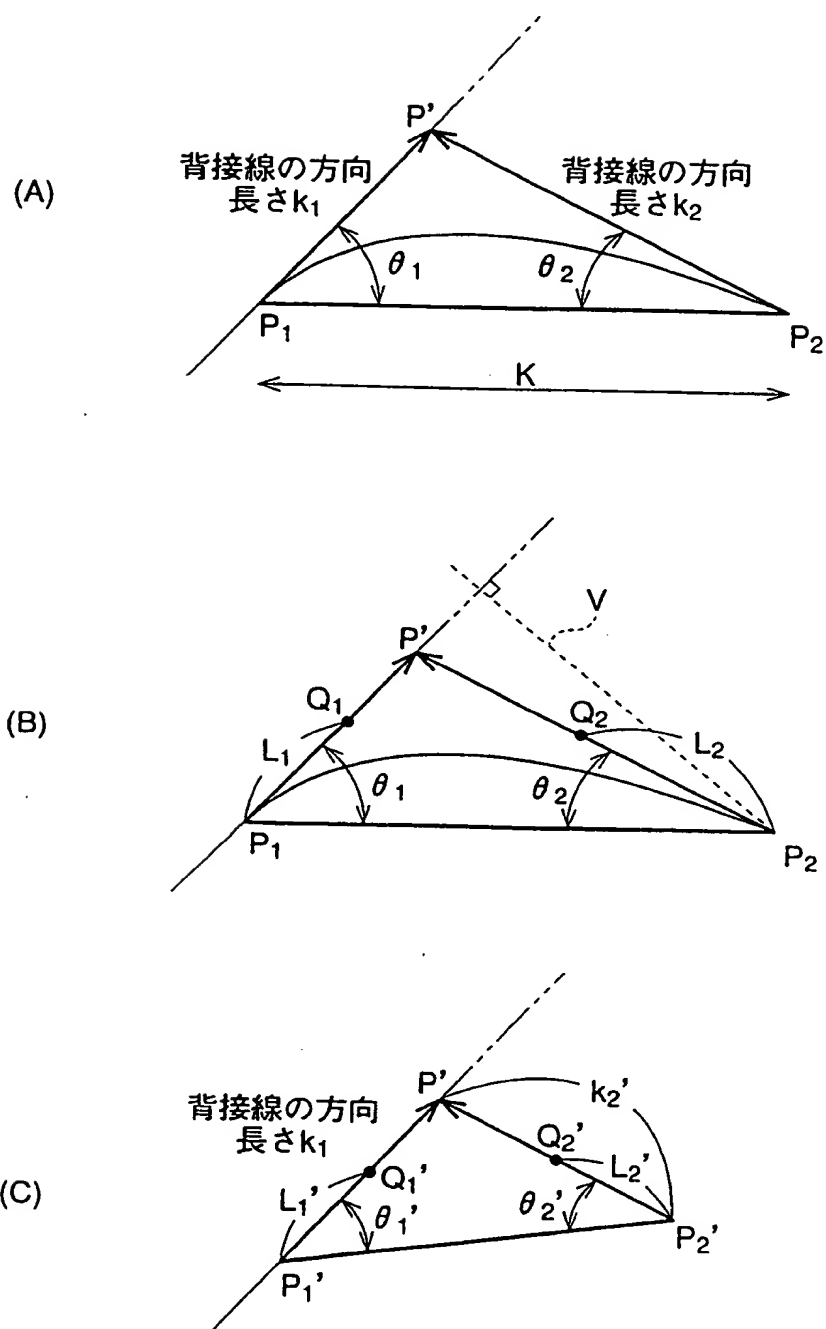


B'ezier制御点の定義

第7図

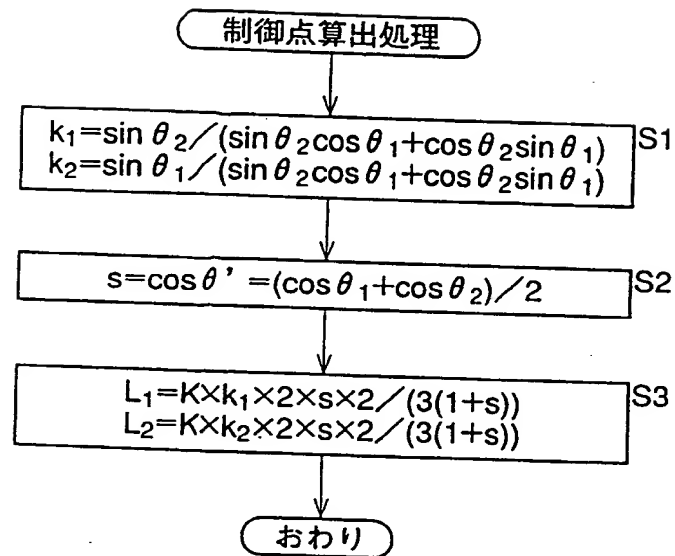


第8図



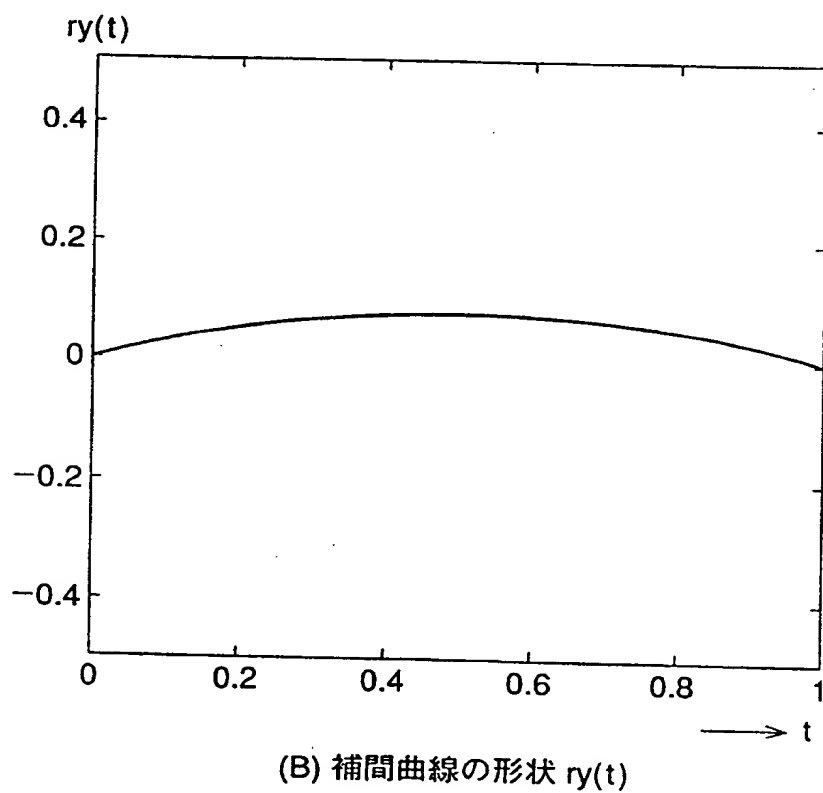
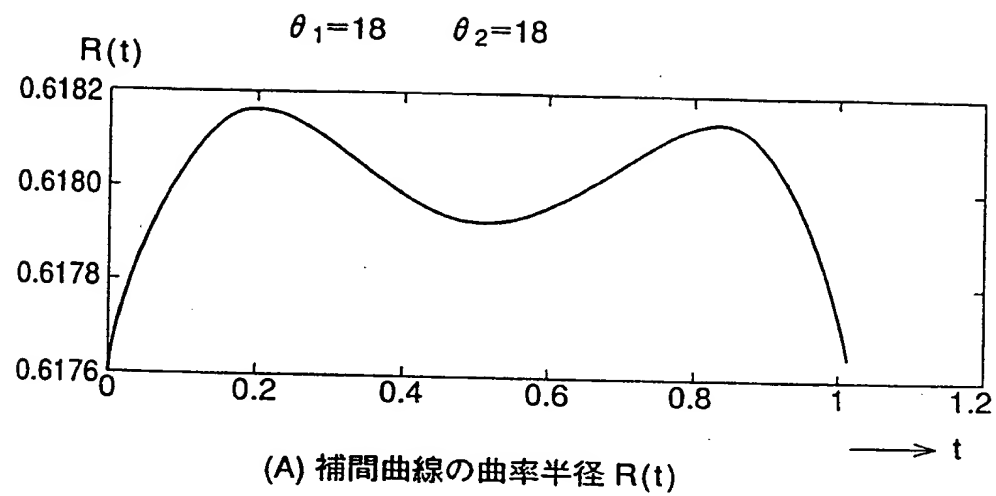
7/42

第9図



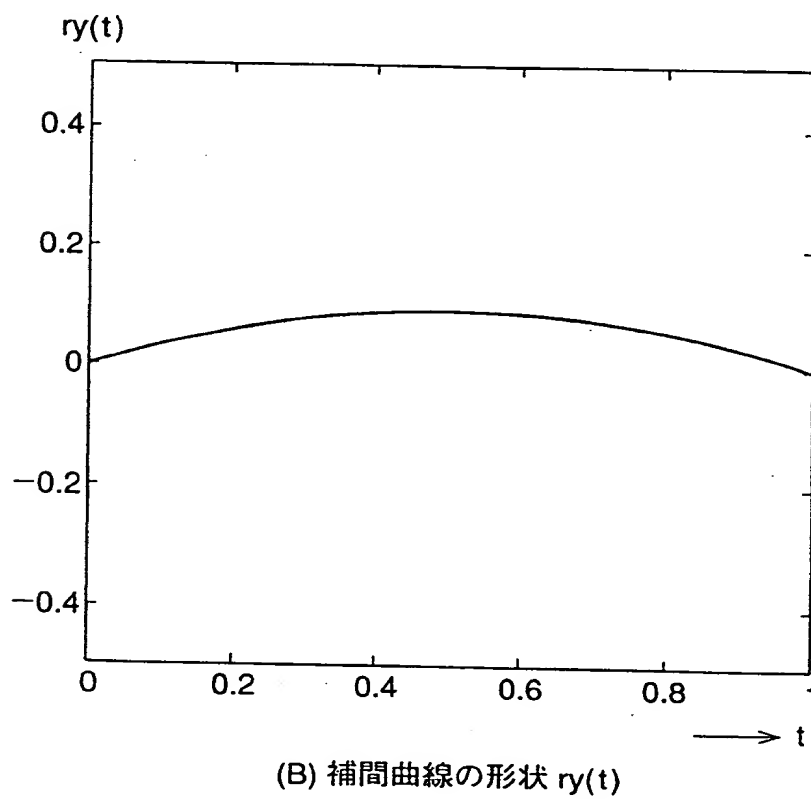
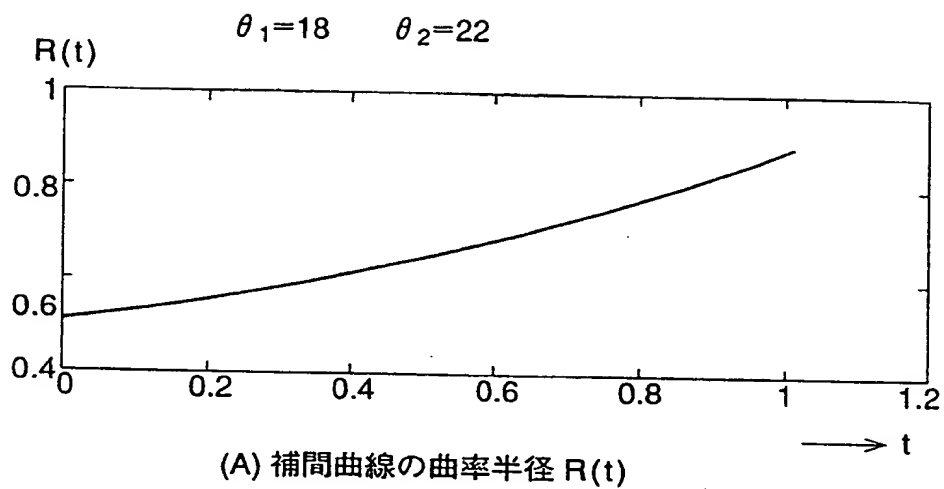
8/42

第10図



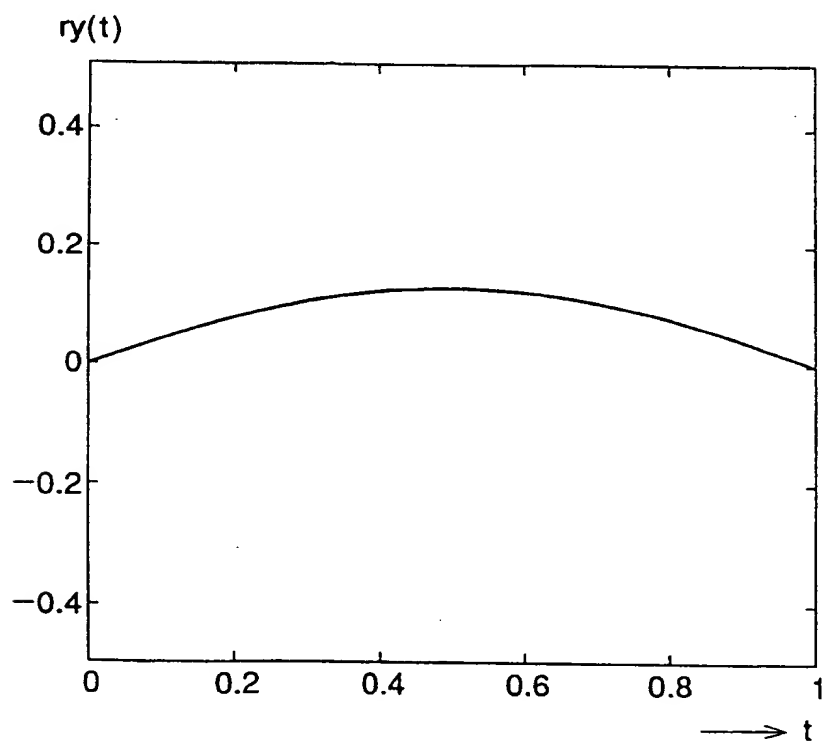
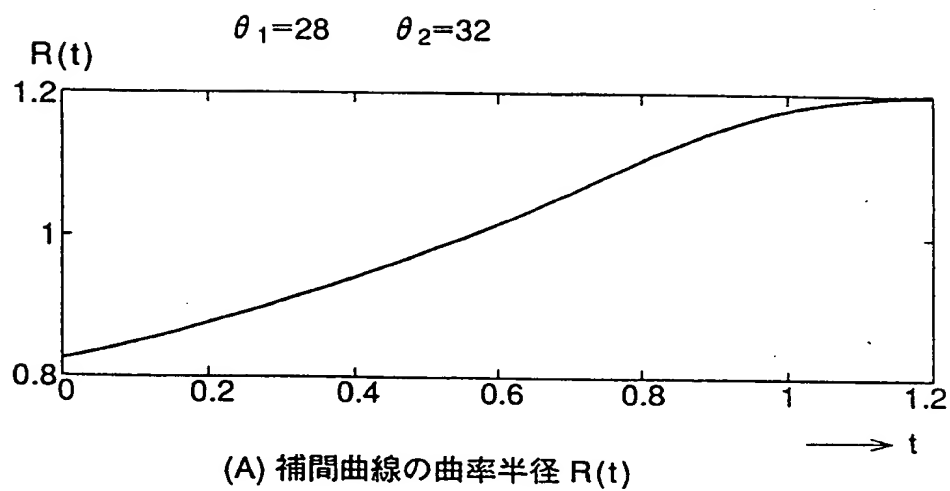
9/42

第 1 1 図



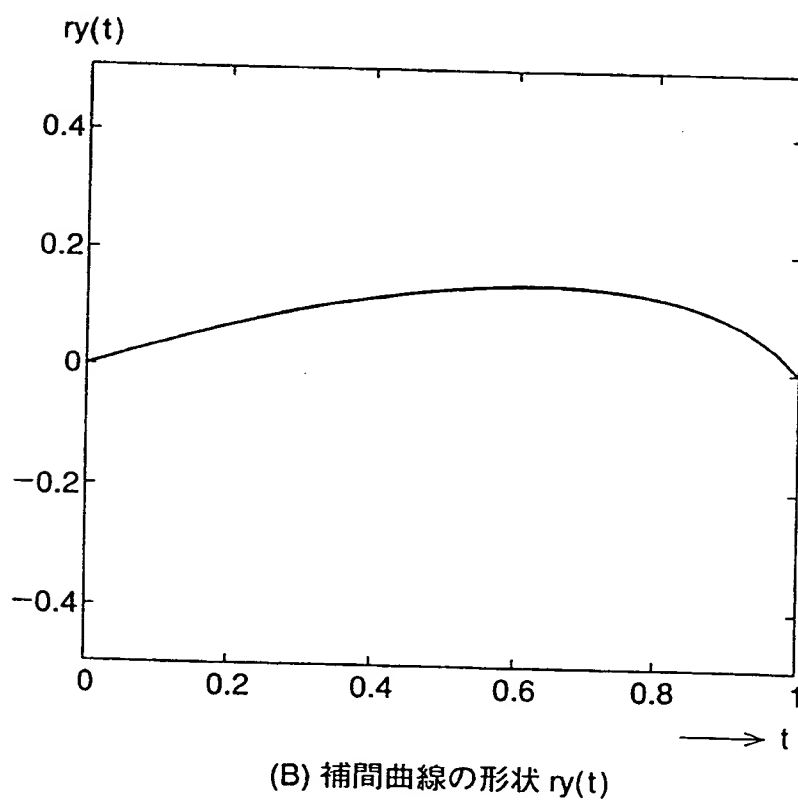
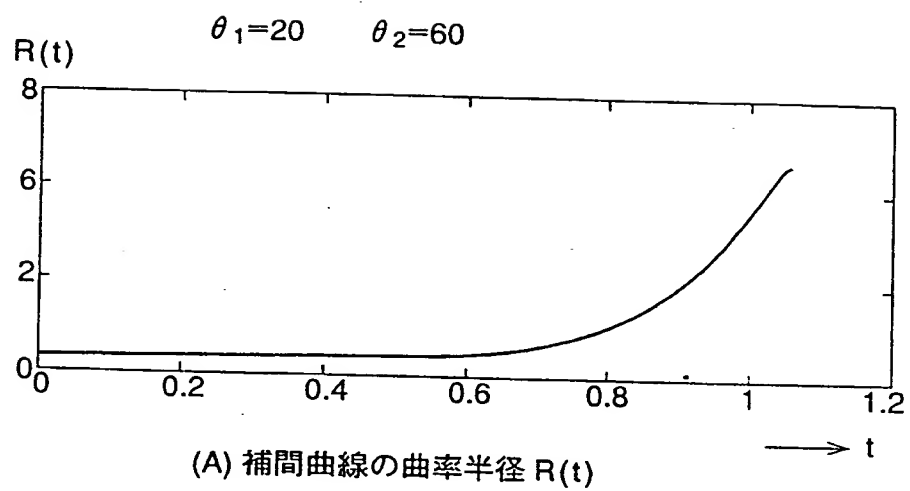
10/42

第 1 2 図



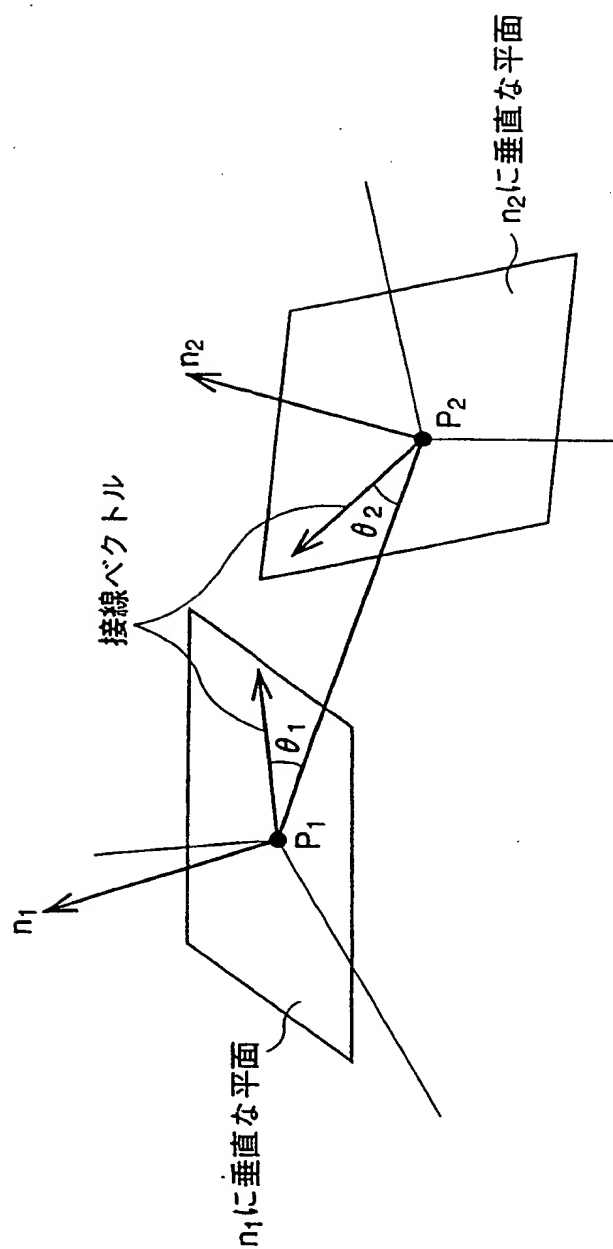
11/42

第 1 3 図

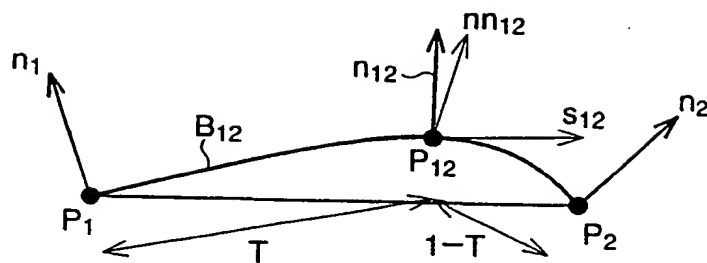


12/42

第 1 4 図

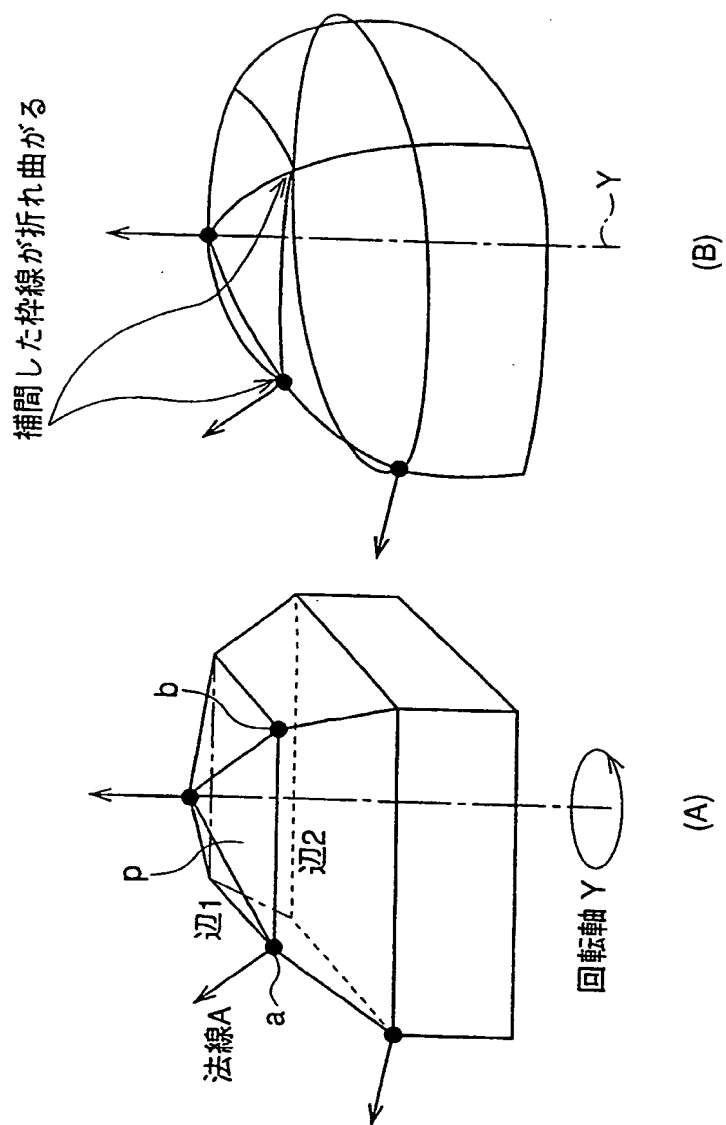
3次元空間での θ_1, θ_2 の算出

第 16 図



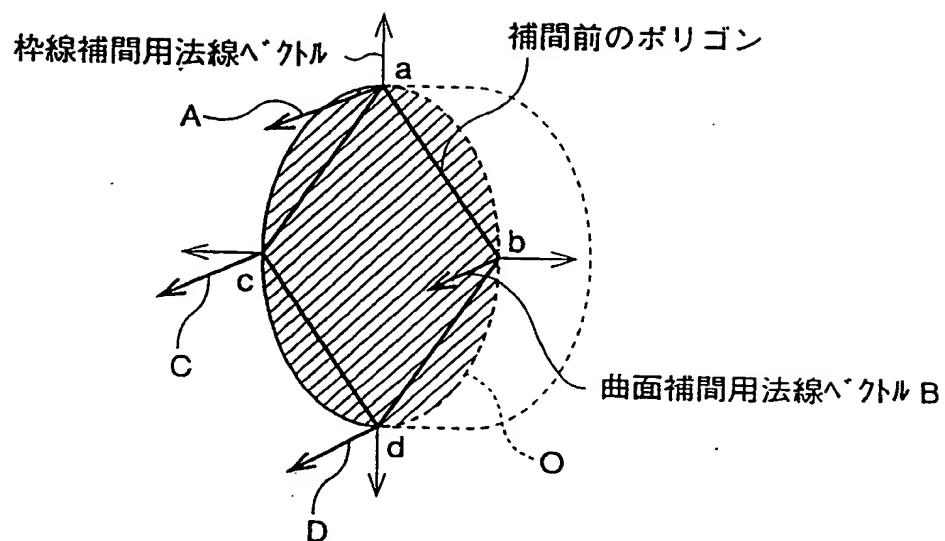
法線ベクトルの補間

第17図

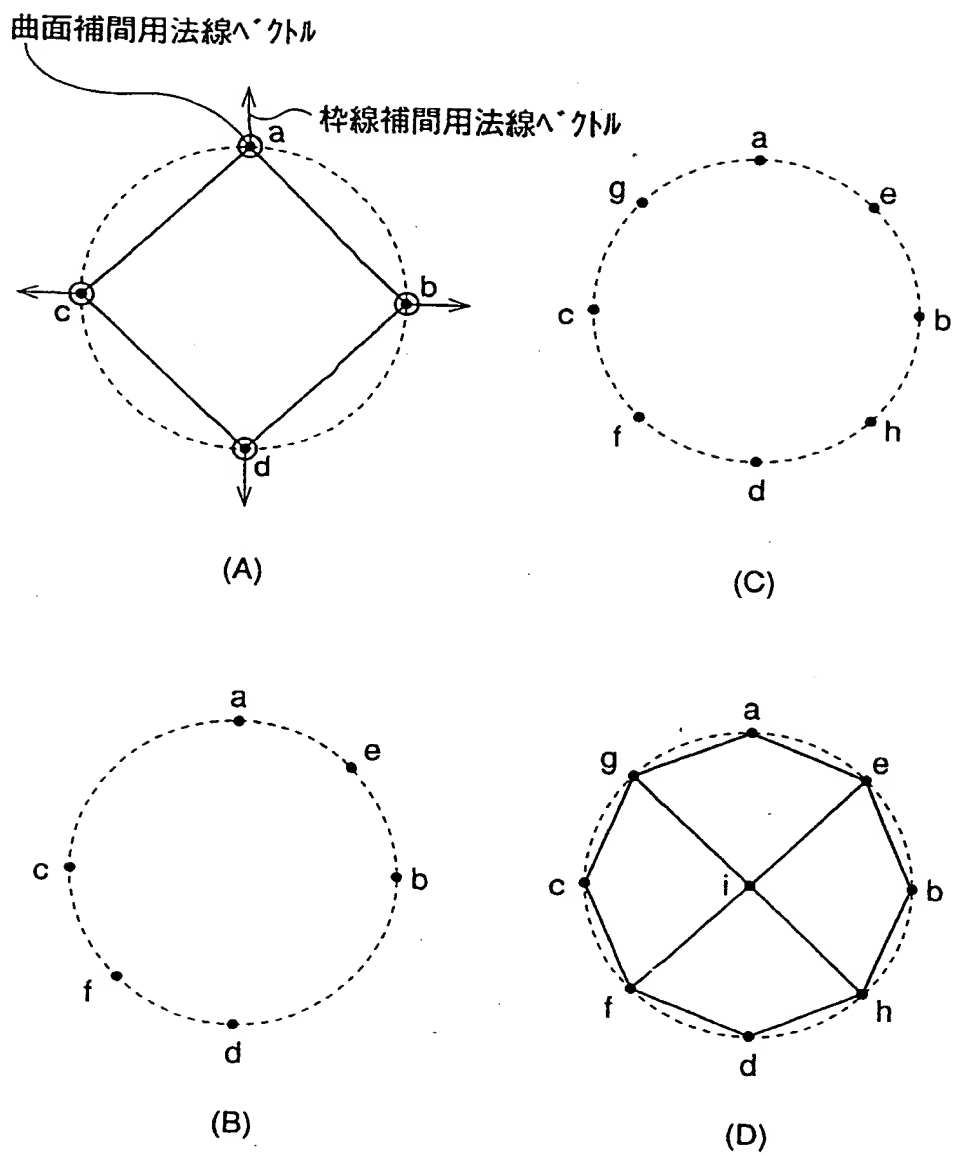


補間したポリゴンの辺の折れ曲がり

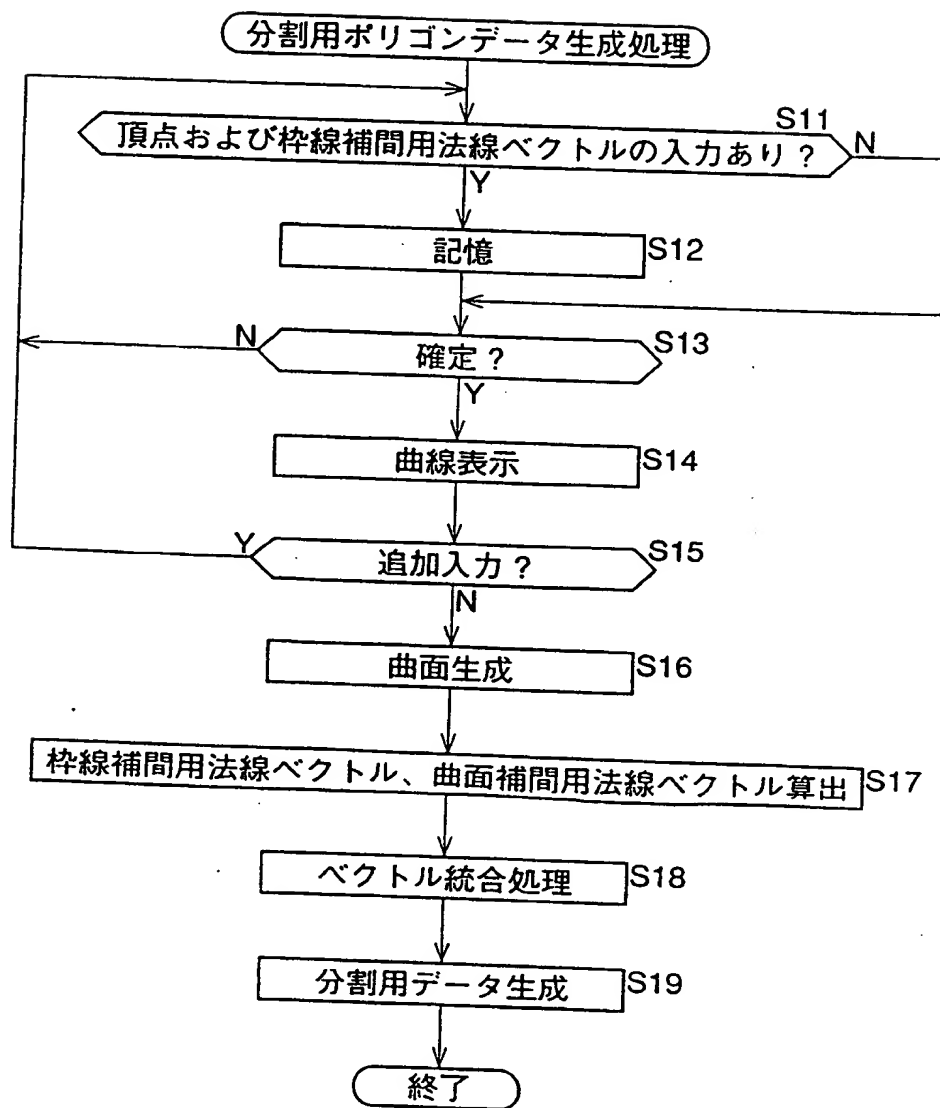
第 18 図



第 19 図

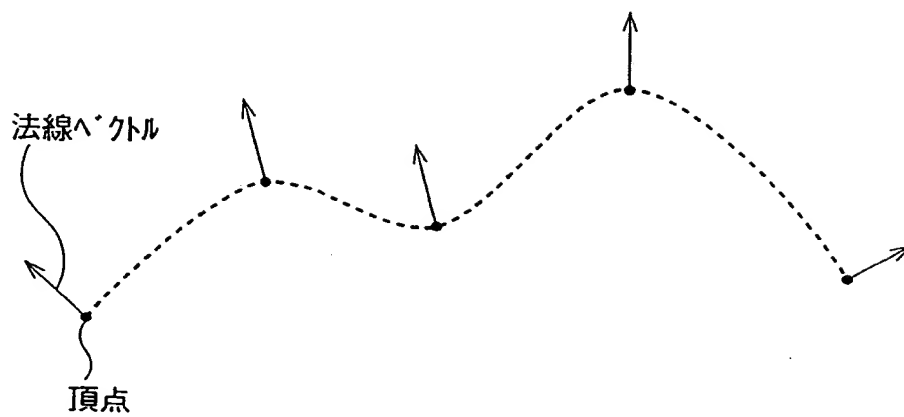


第20図

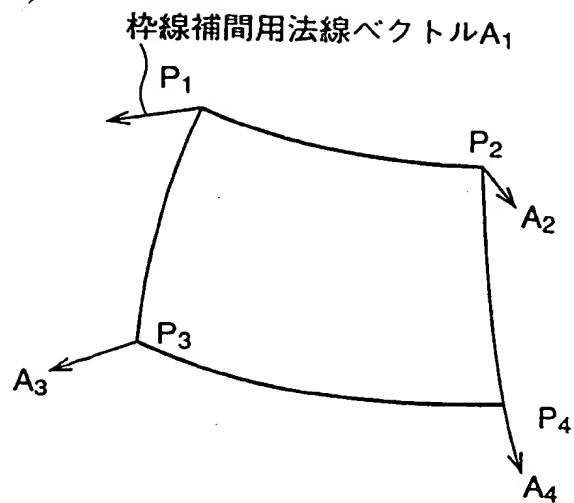
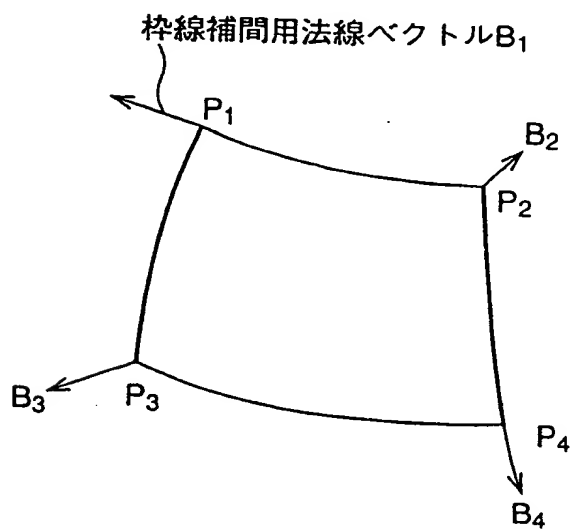


19/42

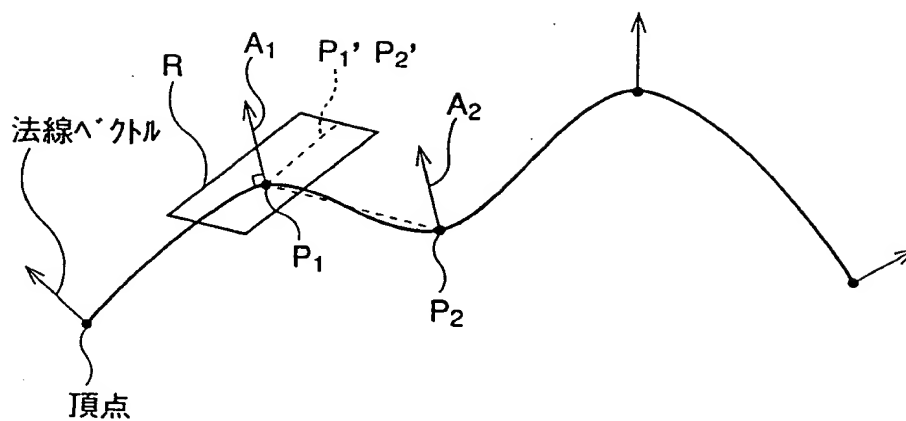
第 2 1 図



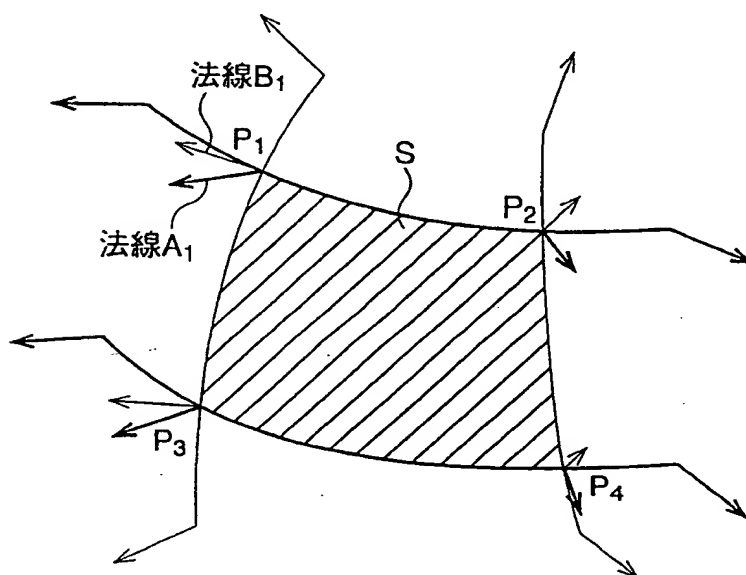
第 2 2 図

(A) 枠線補間用法線ベクトル A と、補間される枠線(太線)(B) 枠線補間用法線ベクトル B と、補間される曲線(太線)

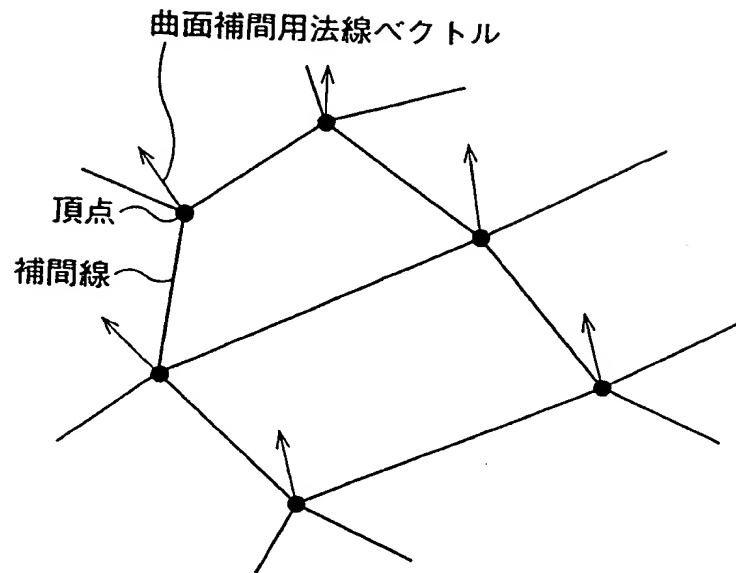
第 23 図



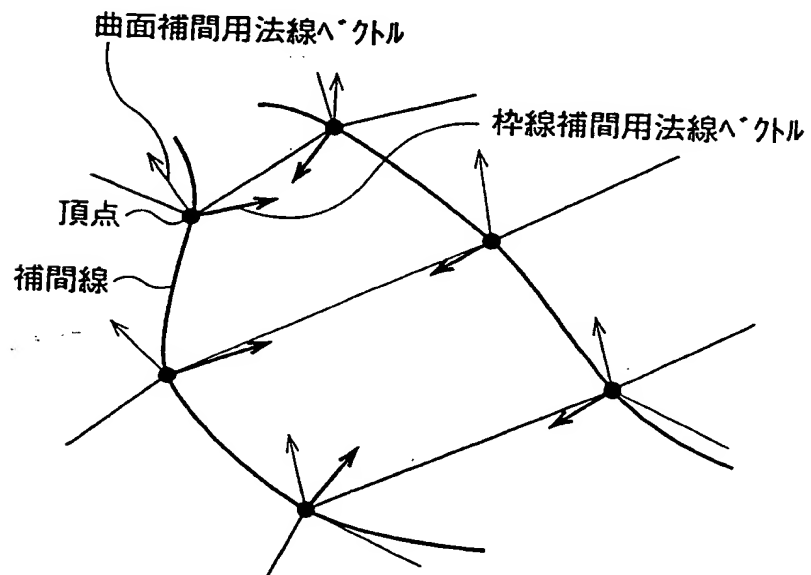
第 24 図



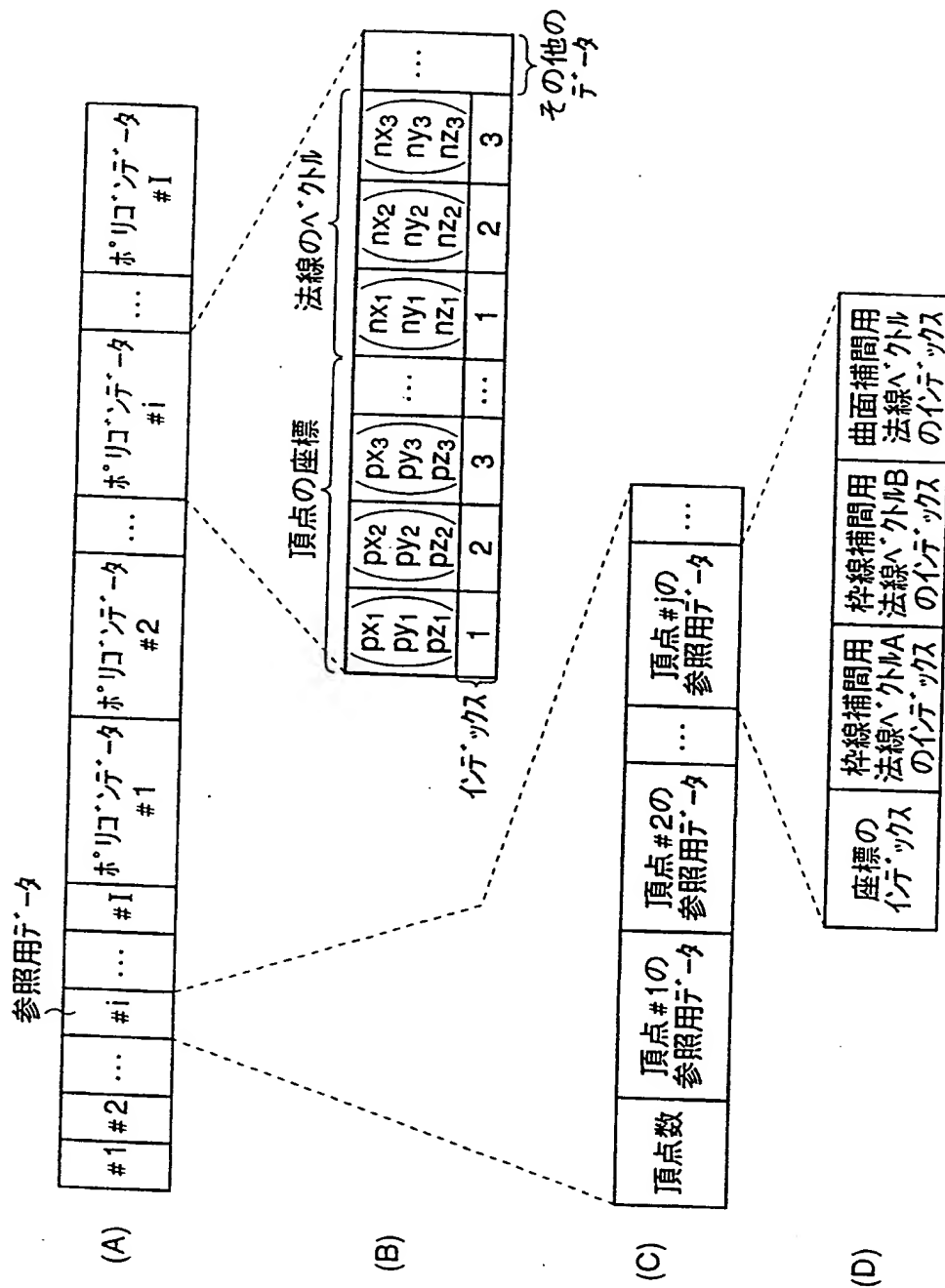
第 25 図



(A) 曲面補間用法線ベクトルのみによる補間線の作成

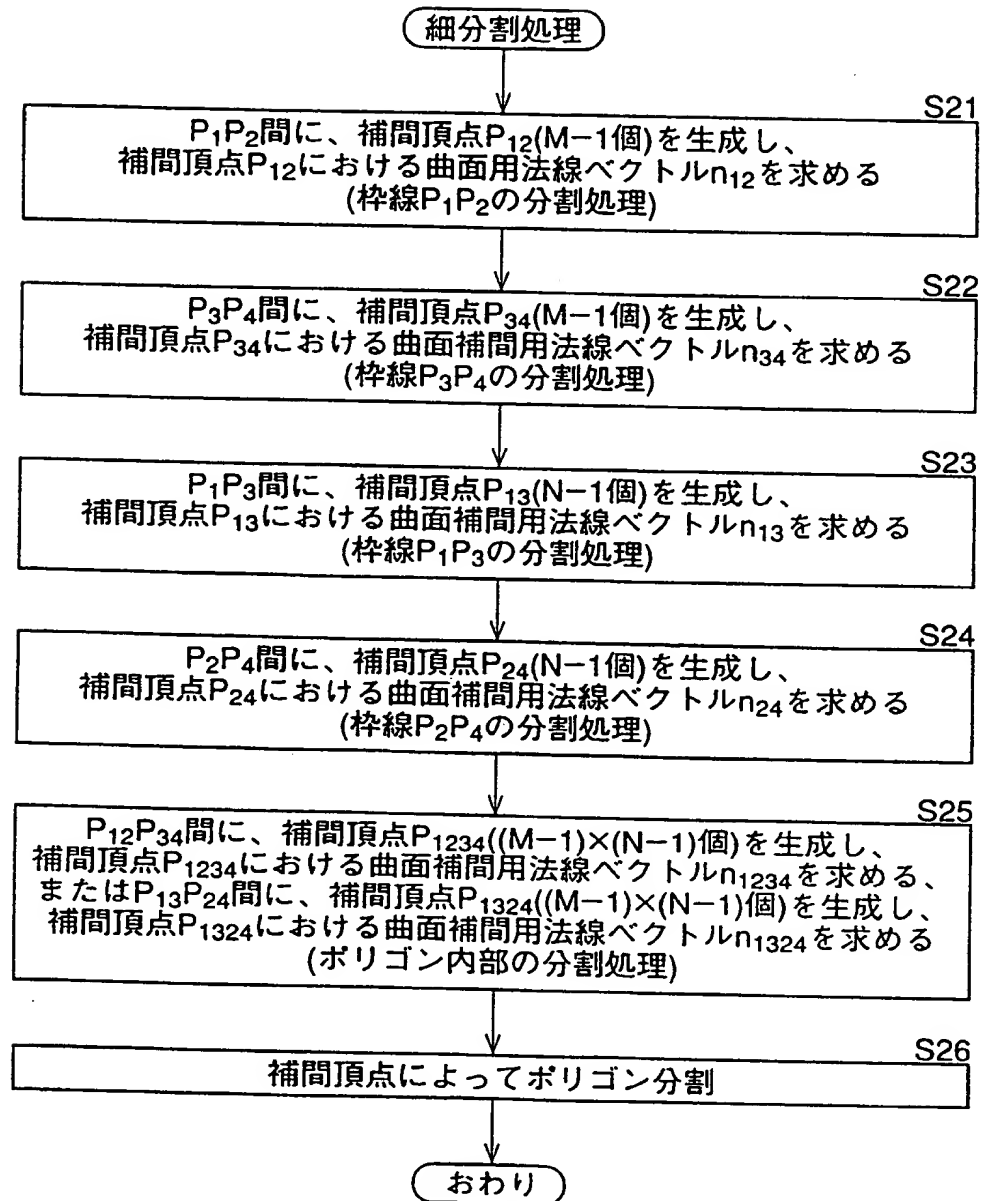
(B) 稜線補間用法線ベクトルを用いることによる
補間線(稜線)のスムース化

第 2 6 図

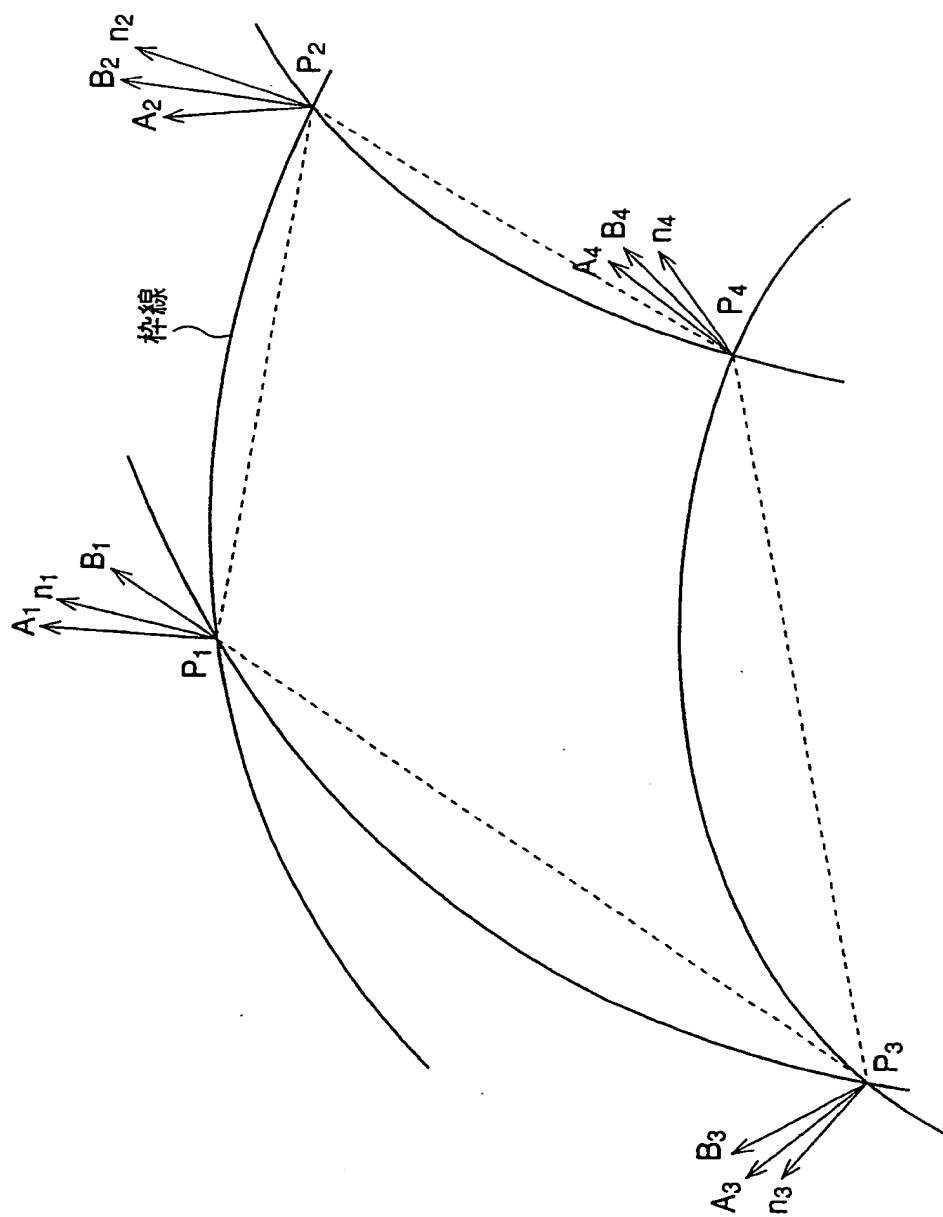


24/42

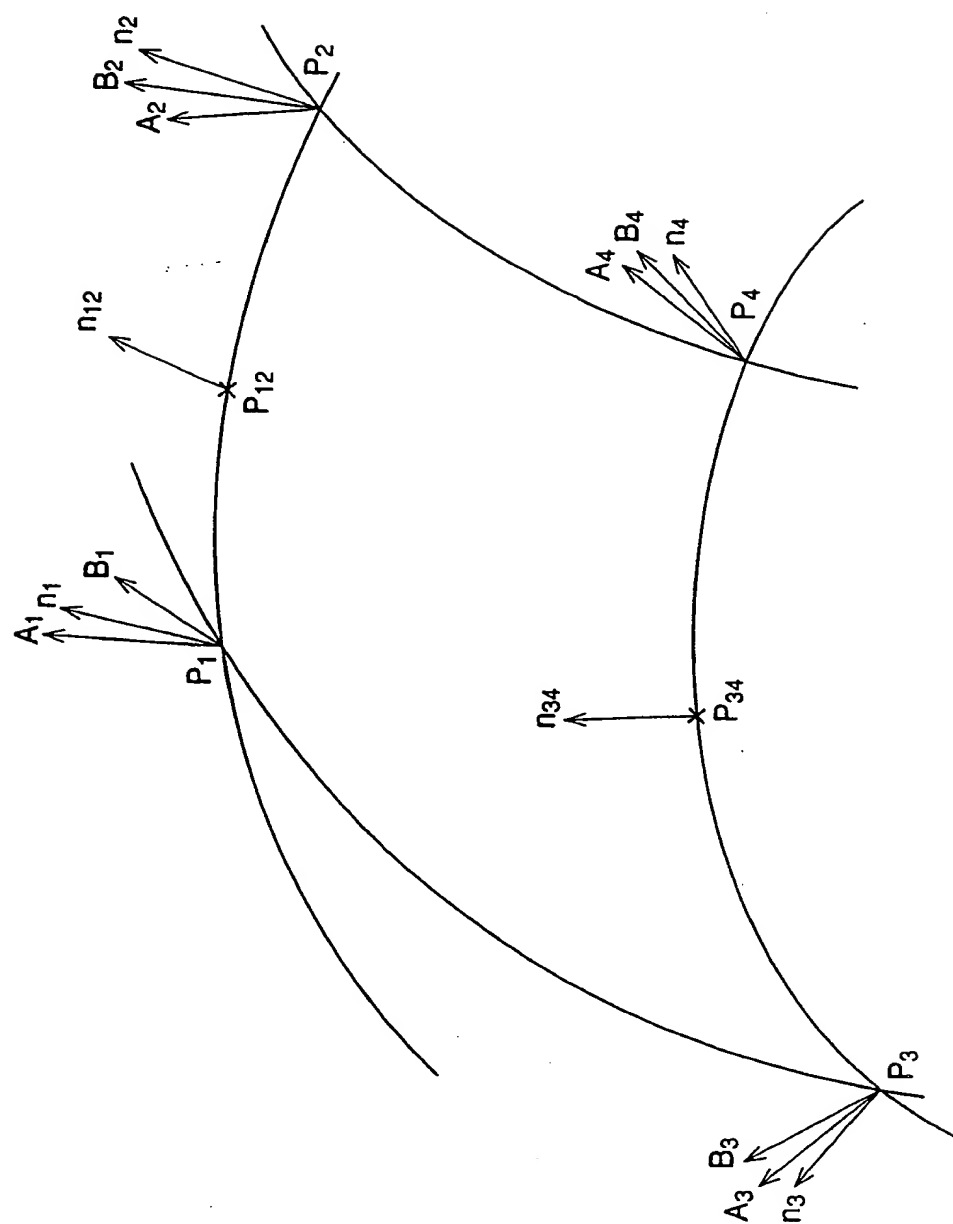
第27図



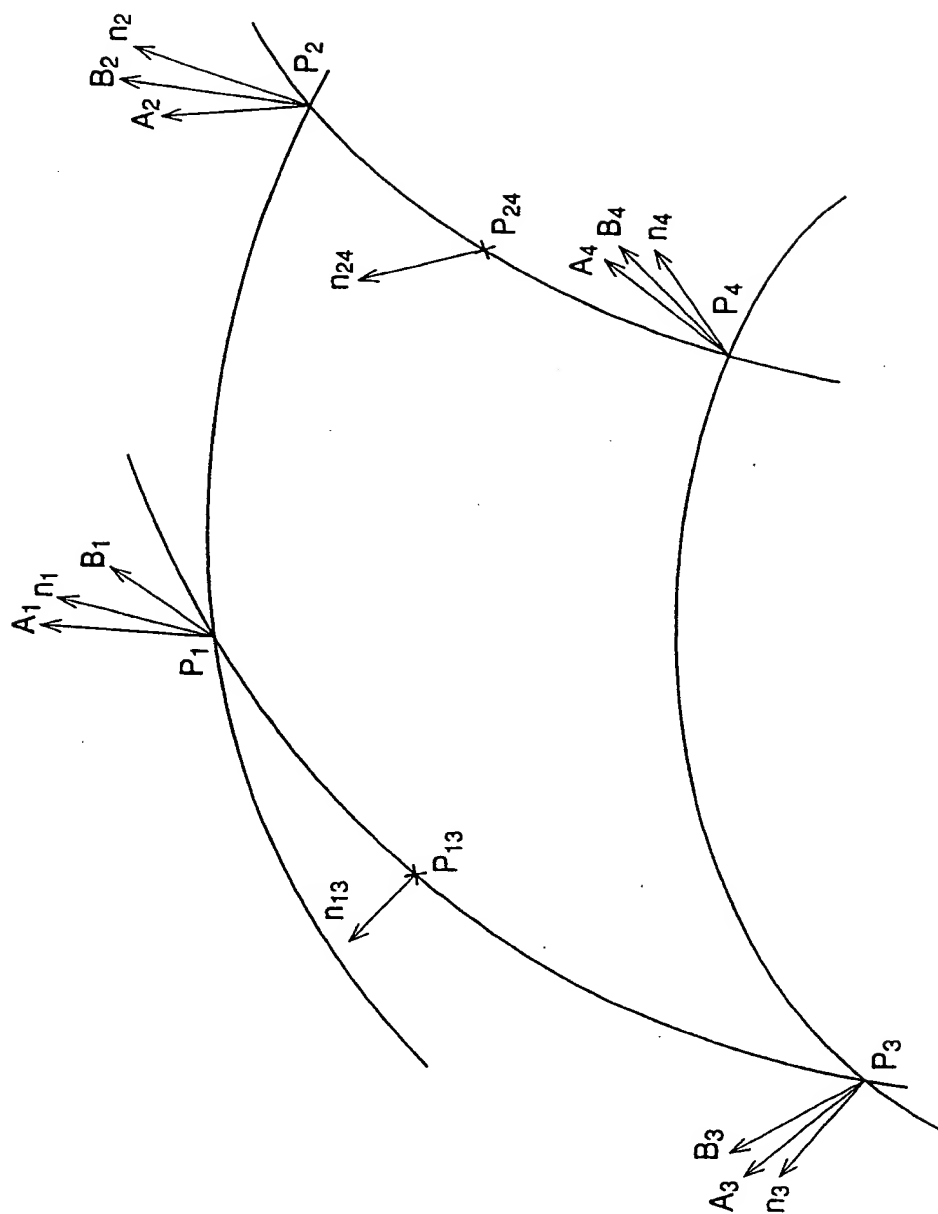
第 28 図



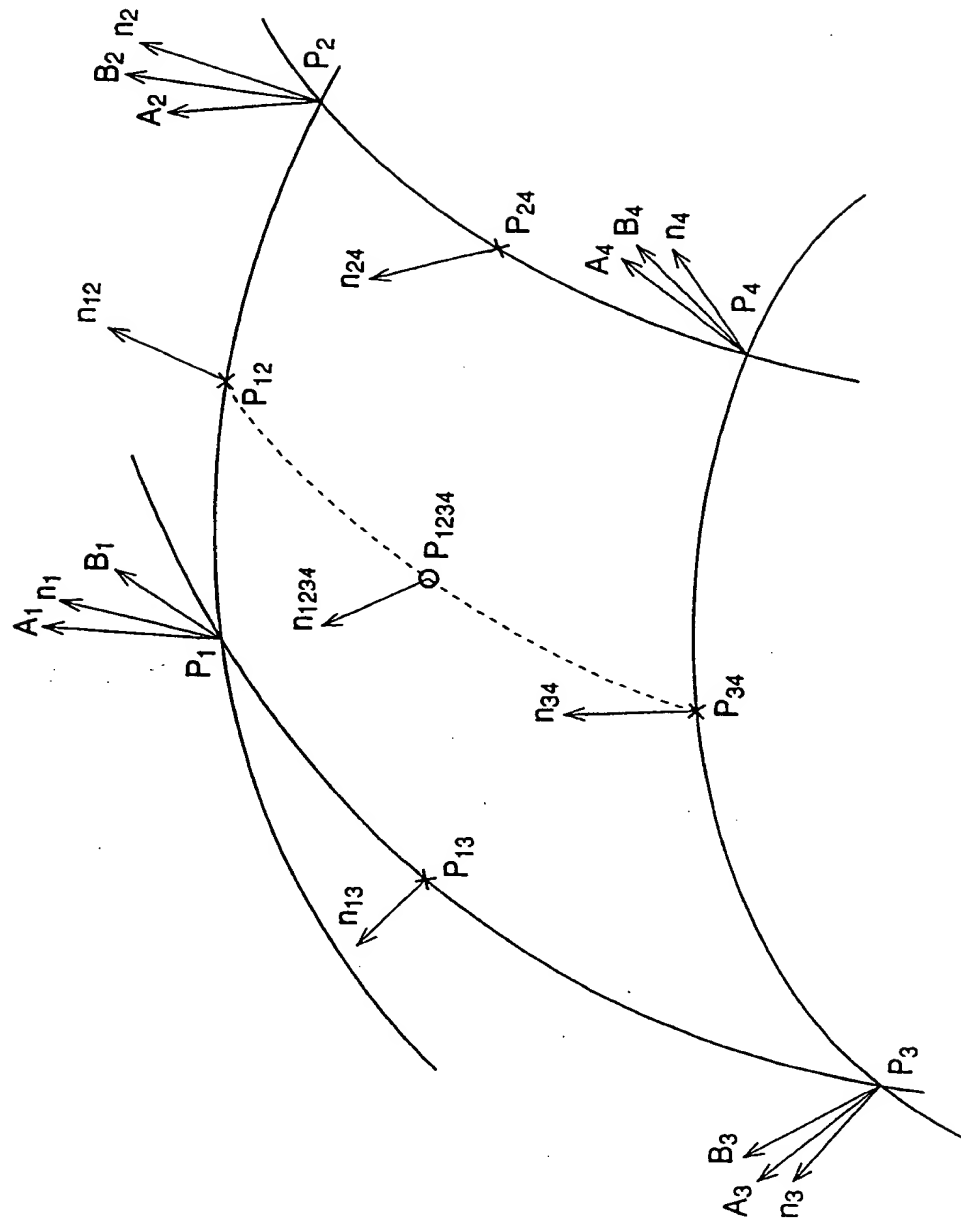
第 29 図



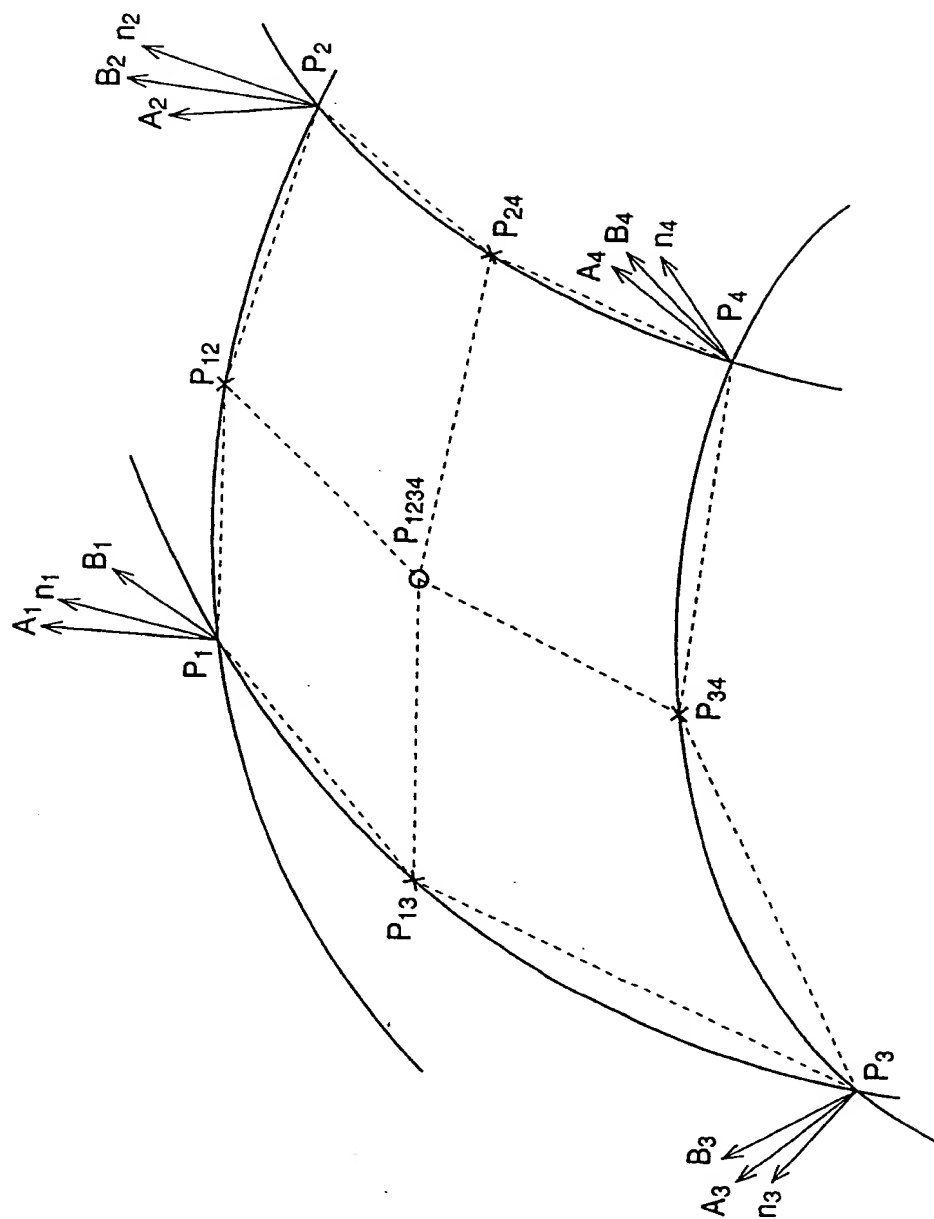
第 30 図



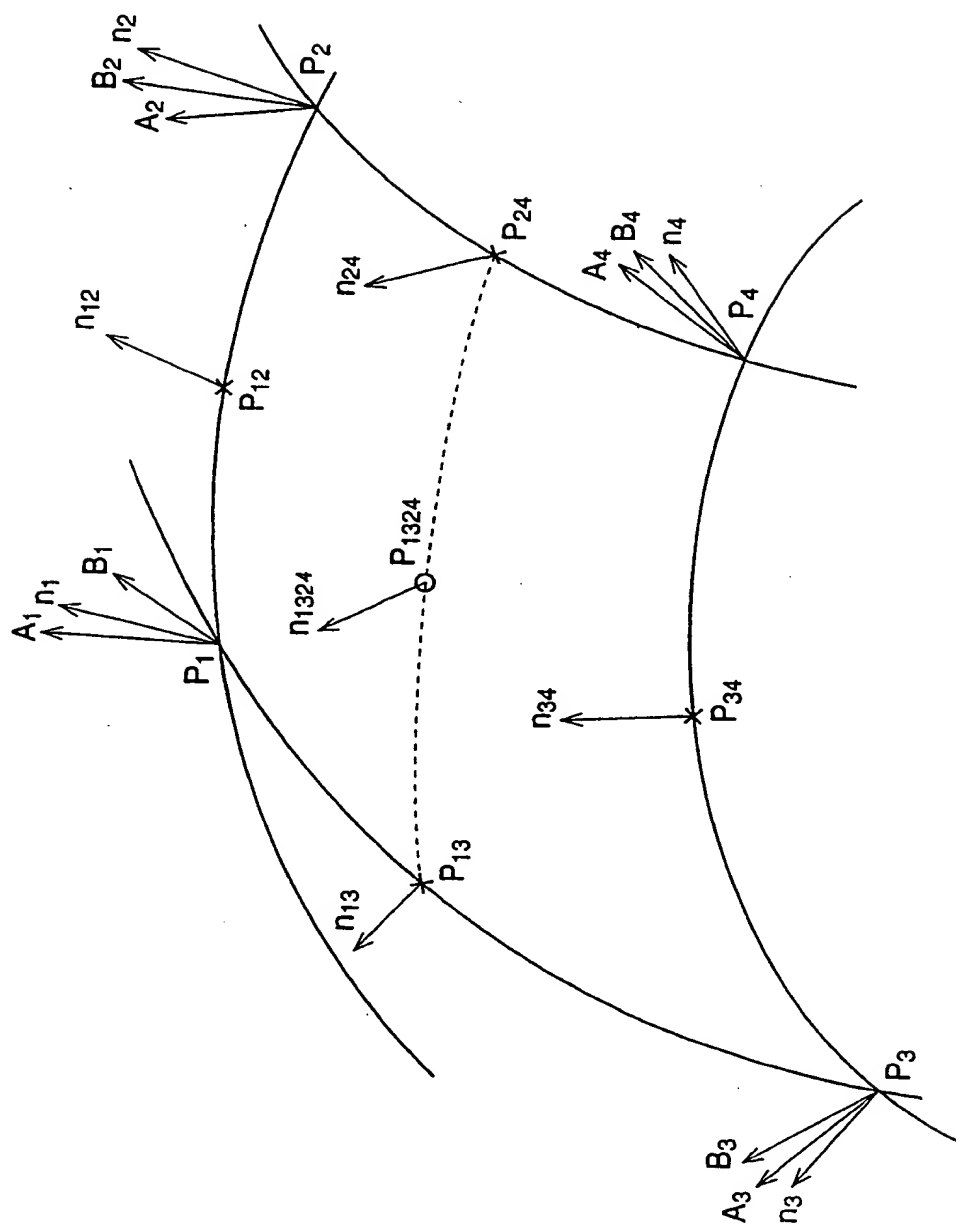
第 3 1 図



第 3 2 図

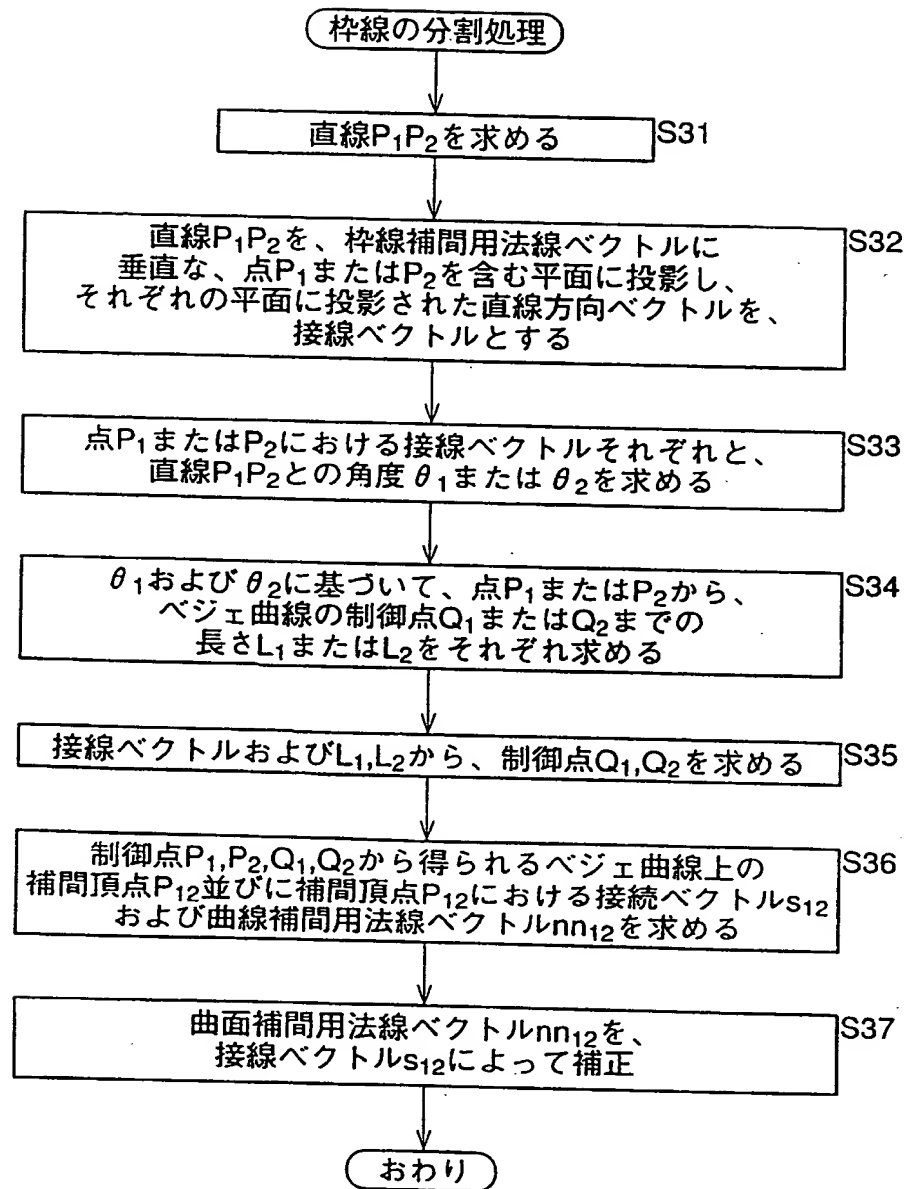


第 3 3 図



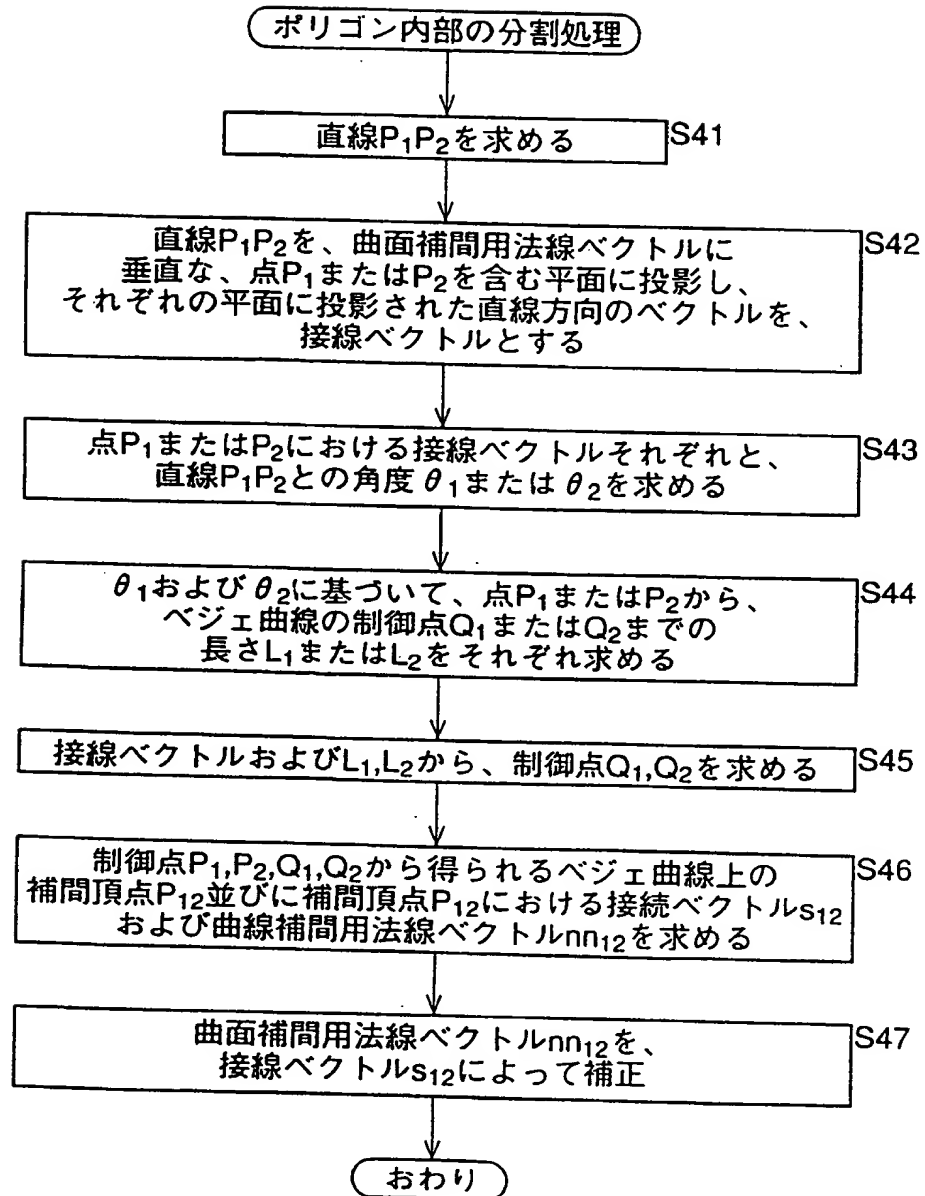
31/42

第34図

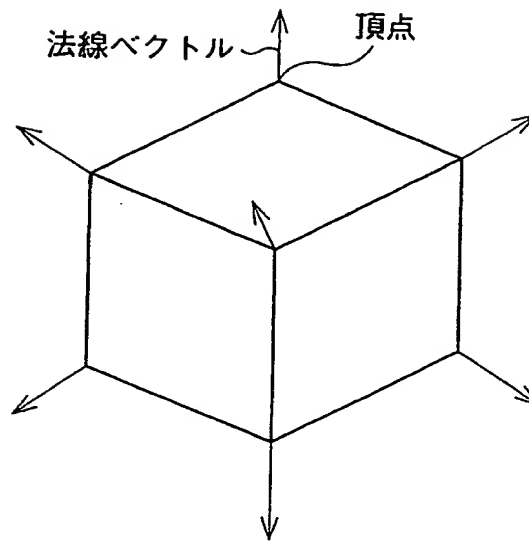


32/42

第35図



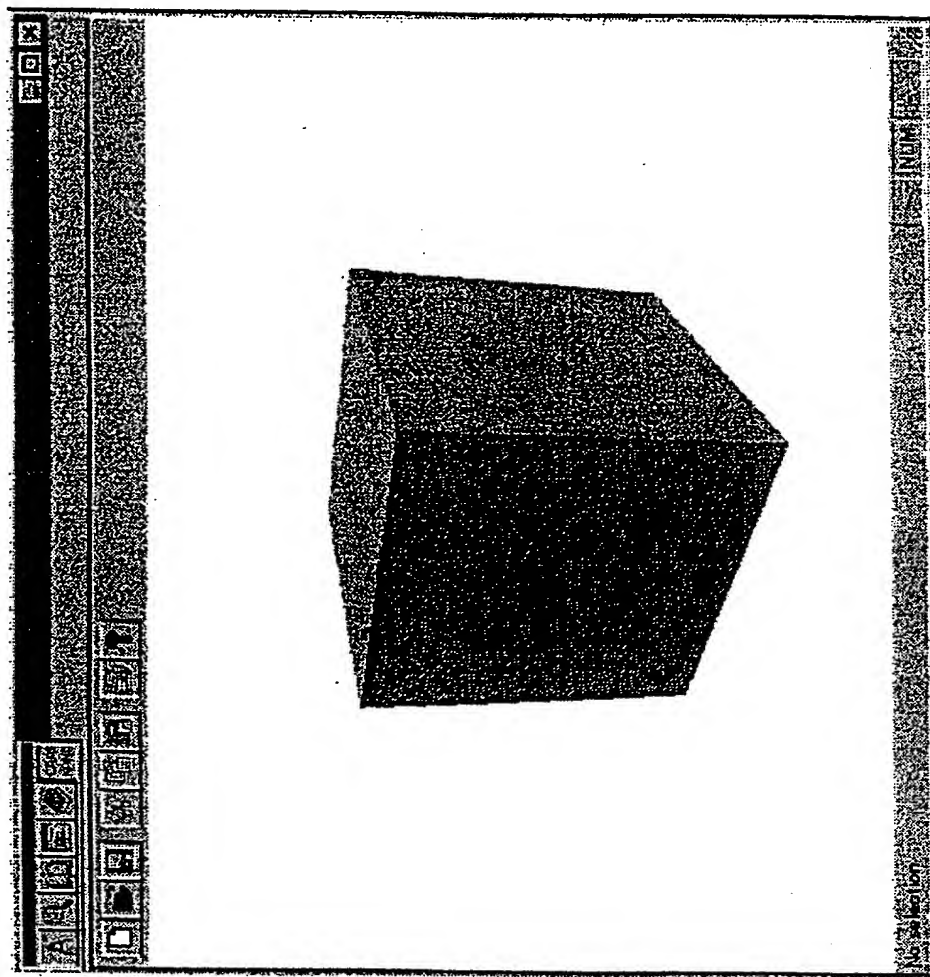
第 3 6 図



立方体のポリゴンと法線の指定

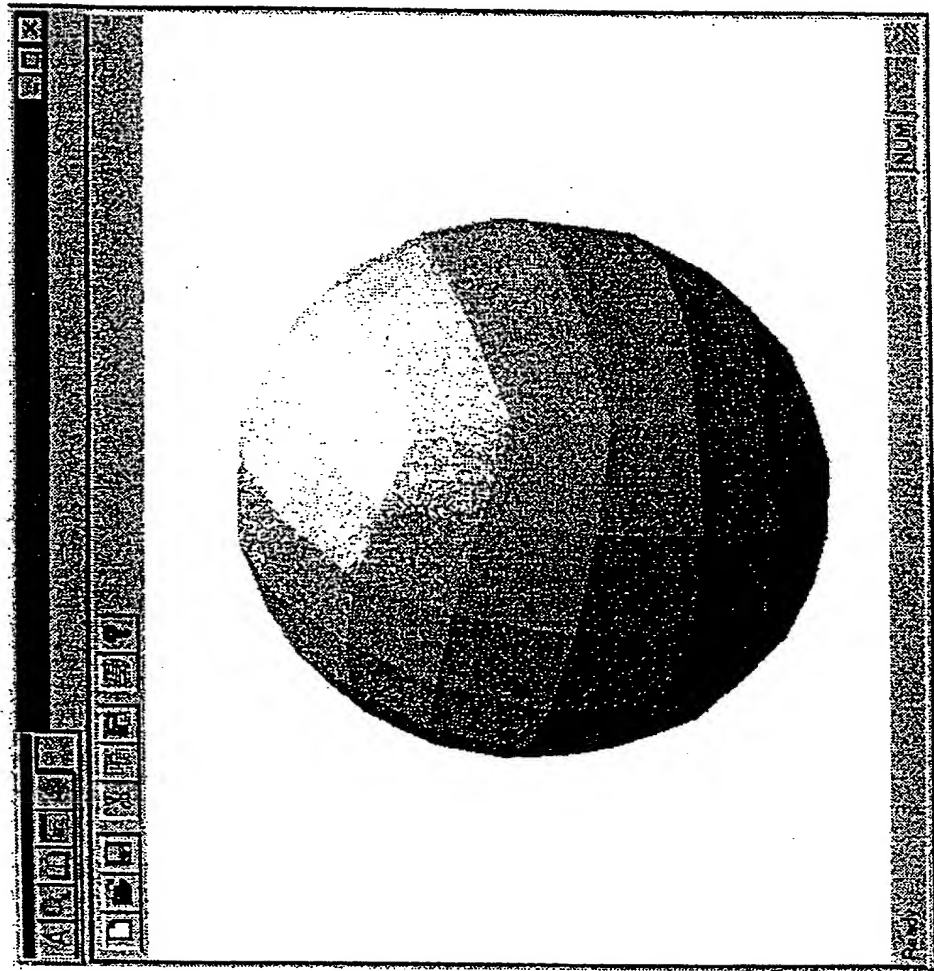
34/42

第 37 図

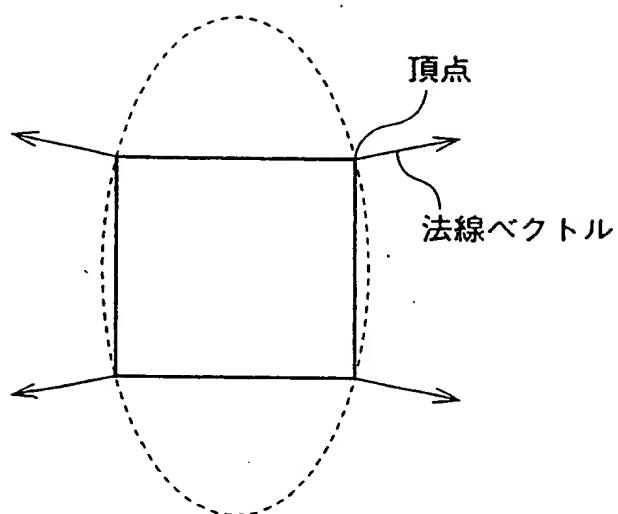


35/42

第 38 図



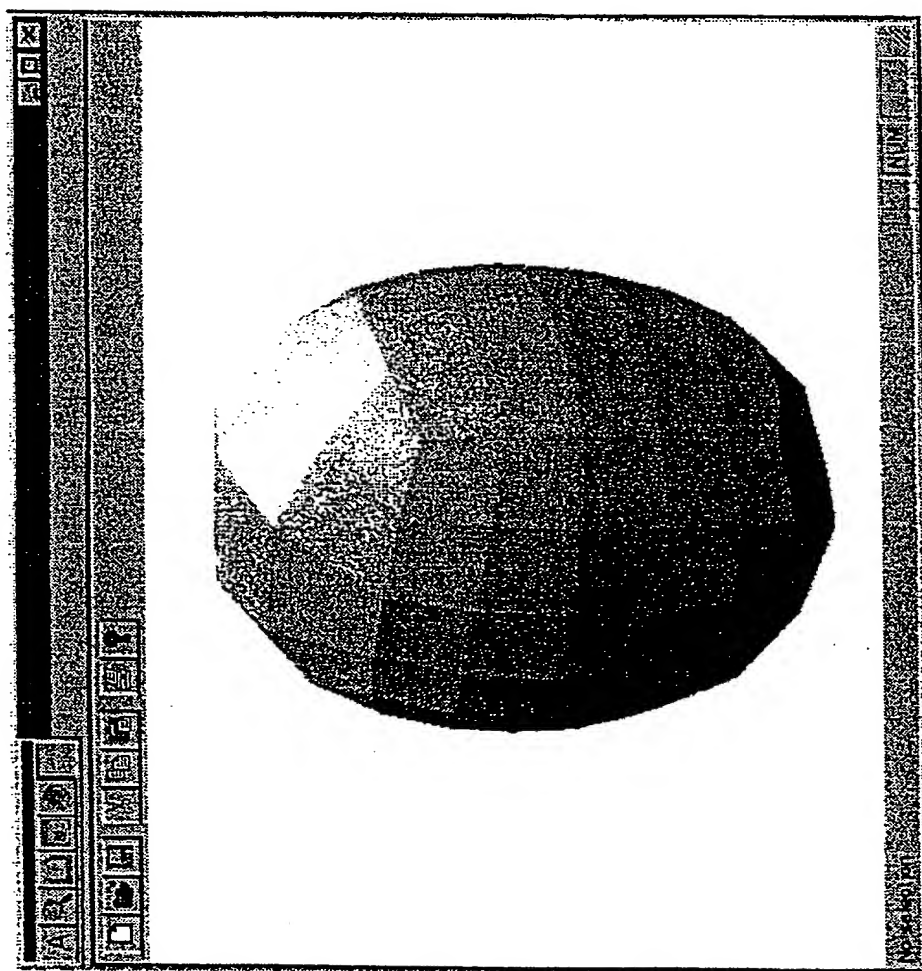
第 3 9 図



縮んだ球の生成例(側面図)

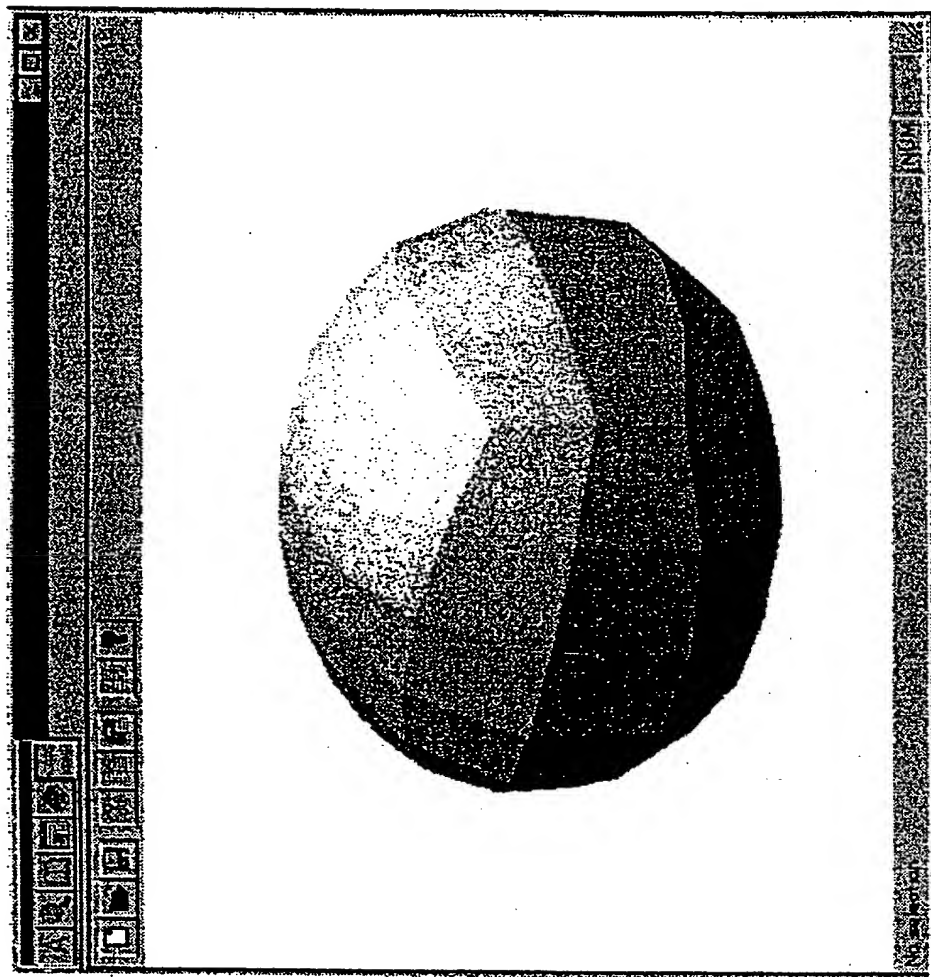
37/42

第 40 図



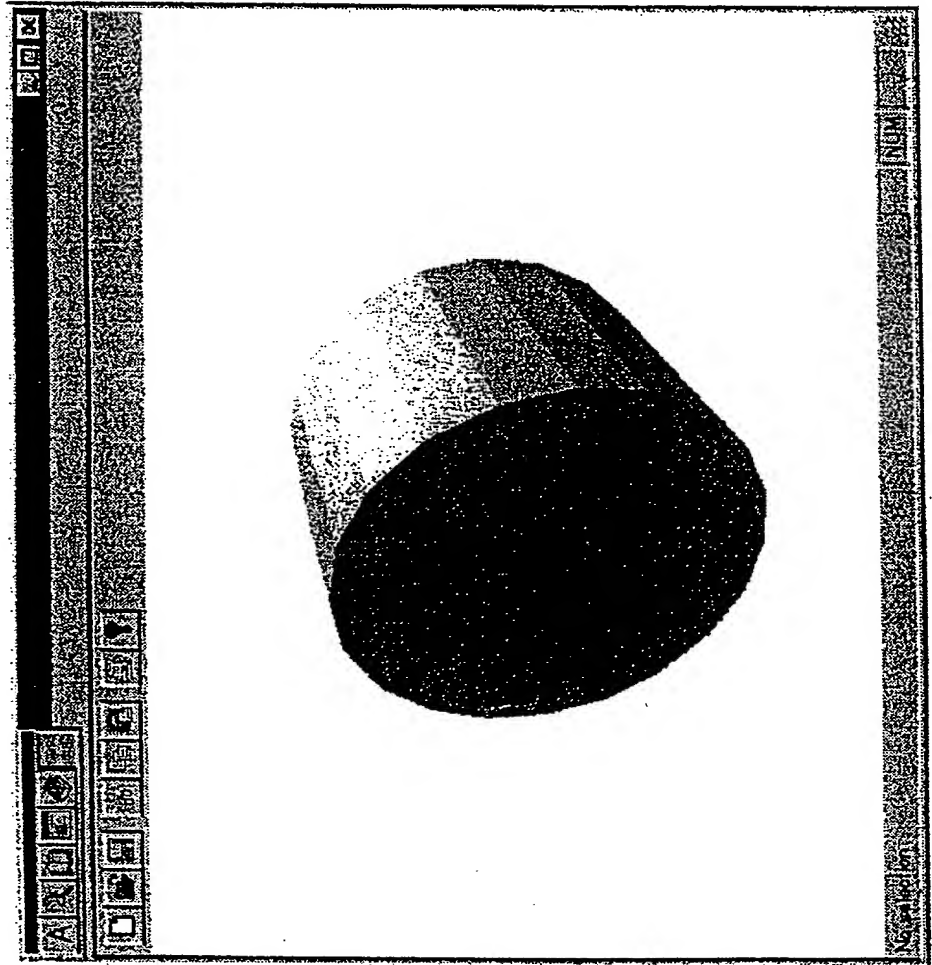
38 / 42

第 4 1 図



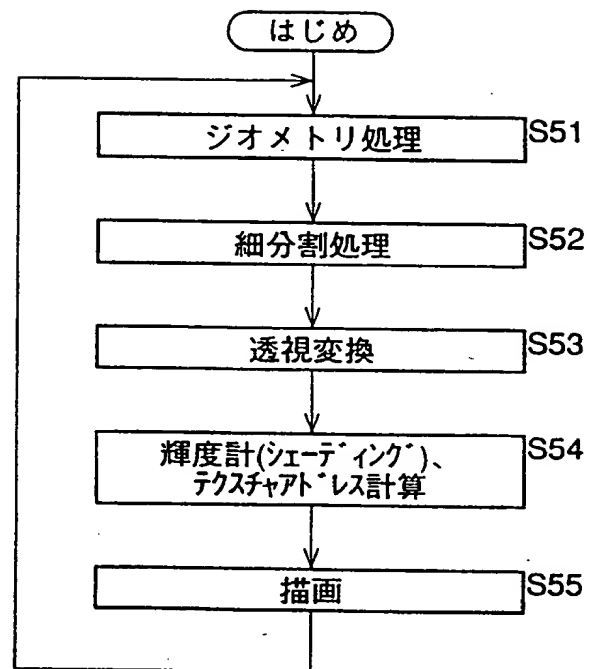
39 / 42

第 4 2 図

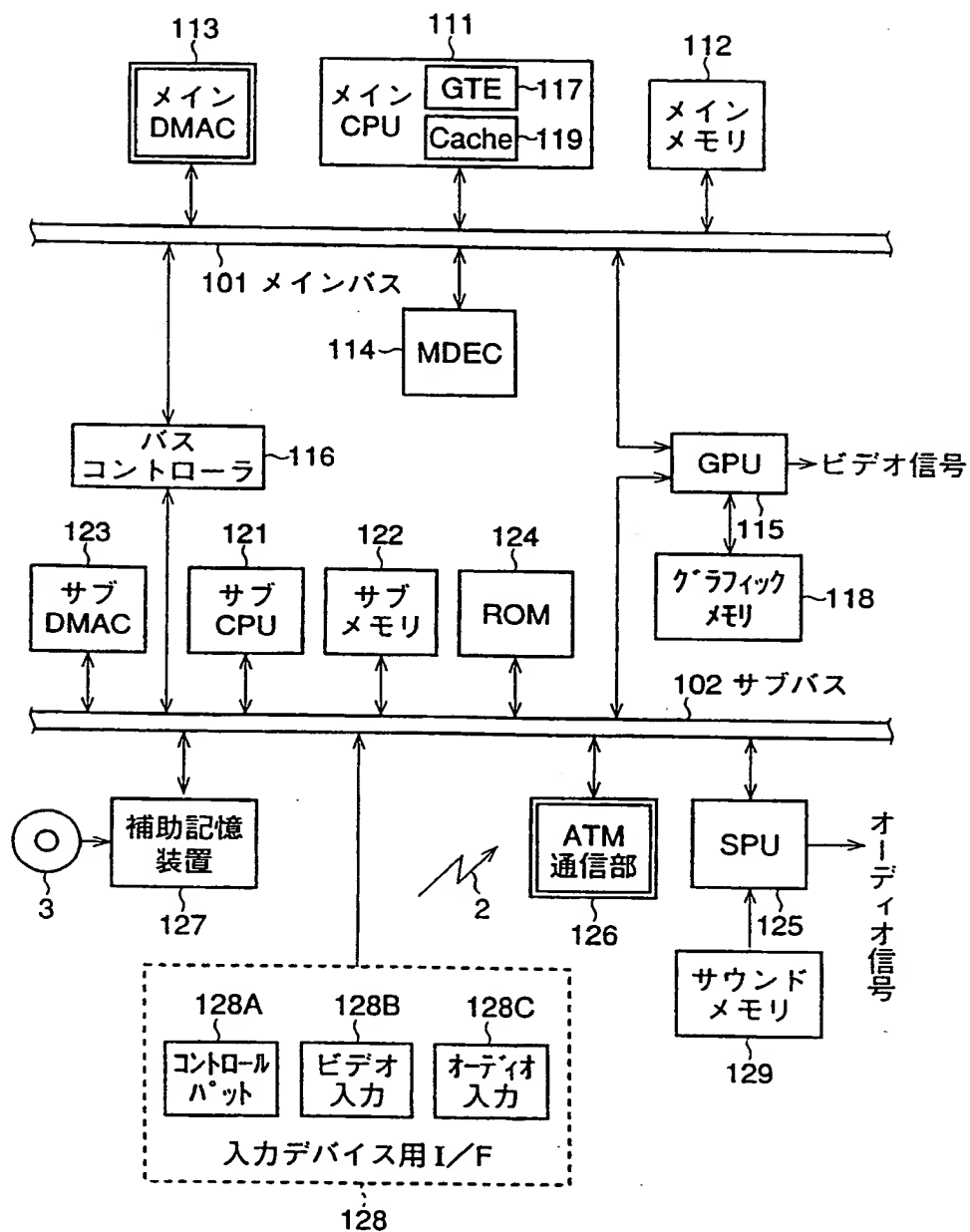


40/42

第43図



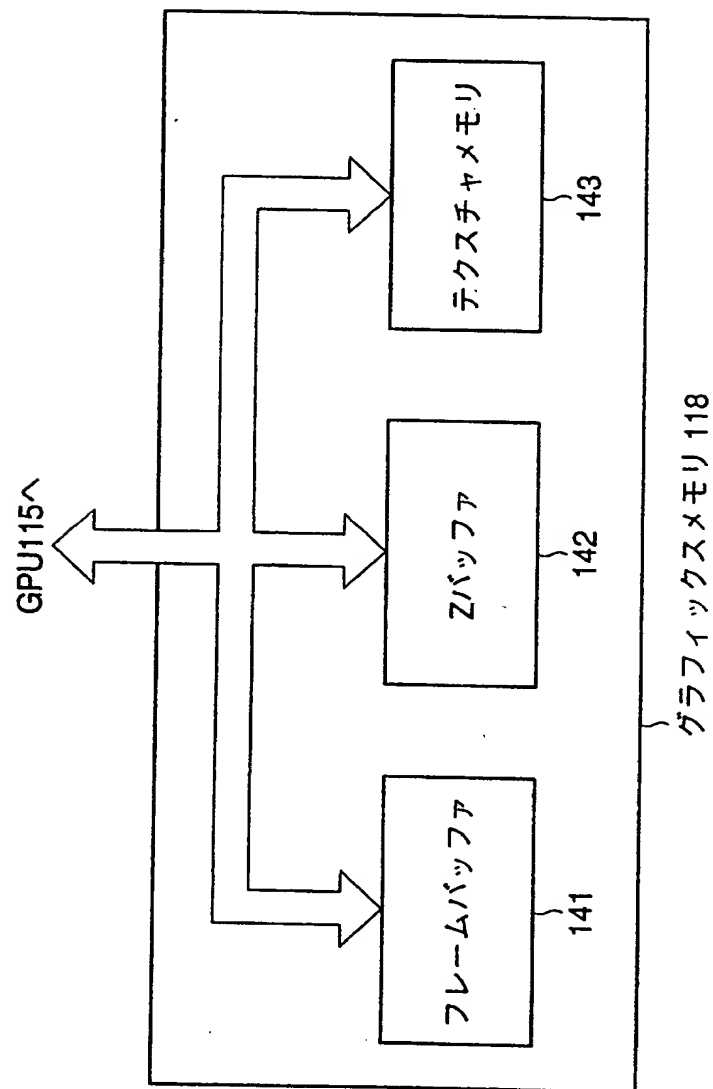
第 4 4 図



ビデオゲーム機

42/42

第45図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/01876

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁶ G06T17/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁶ G06T15/00-17/40

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1996

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 9-305793, A (Sony Computer Entertainment Inc.), 28 November, 1997 (28. 11. 97) & EP, 806744, A2 & CN, 1173000, A	1-133
T	JP, 11-149567, A (NEC IC Miconsystem K.K.), 2 June, 1999 (02. 06. 99) (Family: none)	1-133

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.
 ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not
 considered to be of particular relevance
 "E" earlier document but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is
 cited to establish the publication date of another citation or other
 special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other
 means
 "P" document published prior to the international filing date but later than
 the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority
 date and not in conflict with the application but cited to understand
 the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be
 considered novel or cannot be considered to involve an inventive step
 when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be
 considered to involve an inventive step when the document is
 combined with one or more other such documents, such combination
 being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
 8 July, 1999 (08. 07. 99)

Date of mailing of the international search report
 21 July, 1999 (21. 07. 99)

Name and mailing address of the ISA/
 Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁶ G06T 17/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁶ G06T 15/00-17/40

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年

日本国公開実用新案公報 1971-1996年

日本国登録実用新案公報 1994-1999年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 9-305793, A (株式会社ソニー・コンピュータエンタテインメント) 28. 11月. 97 (28. 11. 97) & EP, 806744, A2 & CN, 1173000, A	1-133
T	J P, 11-149567, A (日本電気アイシーマイコンシステム株式会社) 2. 6月. 99 (02. 06. 99) & ファミリーなし	1-133

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

08. 07. 99

国際調査報告の発送日

21.07.99

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岡本 俊威

5H 9178

電話番号 03-3581-1101 内線 3530

This Page Blank (uspto)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

This Page Blank (uspto)